BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VẬT LÍ 12

Nâng cao



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

NGUYỄN THẾ KHÔI (Tổng Chủ biên)
VŨ THANH KHIẾT (Chủ biên)
NGUYỄN ĐỨC HIỆP - NGUYỄN NGỌC HƯNG - NGUYỄN ĐỨC THÂM
PHẠM ĐÌNH THIẾT - VŨ ĐÌNH TUÝ - PHẠM QUÝ TƯ

VẬT LÍ 12
Nâng cao

(Tái bản lần thứ hai)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

Ghi chú về hai cột sách

Phần lớn các trang sách có hai cột : cột phụ gồm một số hình vẽ và những biểu bảng, những ghi chú và ví dụ cụ thể để làm rõ hơn kiến thức trình bày ở cột chính. Học sinh không cần nhớ, chỉ cần hiểu số liệu trong các biểu bảng, những ví dụ và ghi chú ở cột phụ. Trong cột phụ có những câu hỏi kí hiệu C *dùng để nêu vấn đề và gợi mở trong giờ học.*

01-2010/CXB/760-1485/GD

Mã số : NH205T0

CHƯƠNG I
ĐỘNG LỰC HỌC VẬT RẮN

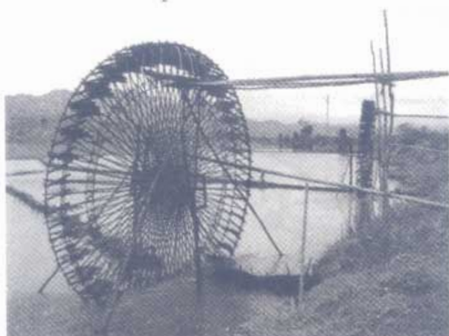


Đu quay

Chuyển động quay có ở mọi nơi, quanh ta. Đó là chuyển động của chiếc đu quay, đĩa compact (CD), kim đồng hồ. Đó cũng là chuyển động của diễn viên nhào lộn, nghệ sĩ trượt băng, là chuyển động quay quanh trục của Trái Đất, của các hành tinh trong hệ Mặt Trời... Trong chương này, chúng ta sẽ khảo sát *chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định*, trong đó *vật rắn* được hiểu là những vật có kích thước đáng kể và hầu như không bị biến dạng dưới tác dụng của ngoại lực.

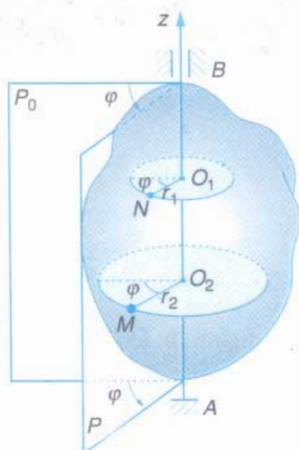


CHUYỂN ĐỘNG QUAY CỦA VẬT RẮN QUANH MỘT TRỤC CỐ ĐỊNH



Chuyển động quay của cọn nước (loại guồng nước thường thấy ở vùng núi phía Bắc nước ta). Cọn nước được dùng để tải nước từ suối lên ruộng cao.

Ở lớp 10, ta đã biết *vật rắn* là vật mà khoảng cách giữa hai điểm bất kì của vật không thay đổi (vật không thay đổi hình dạng). Khi vật rắn *chuyển động tịnh tiến* (thẳng hoặc cong) thì mọi điểm của vật có quỹ đạo giống hệt nhau, có thể chồng khít lên nhau. Vì thế, muốn khảo sát chuyển động tịnh tiến của vật rắn, ta chỉ cần xét chuyển động của một điểm bất kì của nó. Trong bài này, chúng ta sẽ đi sâu tìm hiểu chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định về phương diện động học với nội dung là : Xác định quy luật chuyển động của vật và tìm mối liên hệ giữa các đại lượng đặc trưng cho chuyển động quay.



Hình 1.1 *Vật rắn quay quanh một trục cố định Az. P_0 là mặt phẳng cố định, P là mặt phẳng động gắn với vật và quay cùng với vật.*

C1 Trên Hình 1.1, khi vật rắn quay quanh trục *Az* thì các điểm *M, N* trên vật sẽ chuyển động như thế nào ?

1. Toạ độ góc

Xét một vật rắn bất kì quay quanh một trục *Az* cố định (Hình 1.1). Chuyển động này có hai đặc điểm sau đây :

– Mỗi điểm trên vật vạch một đường tròn nằm trong mặt phẳng vuông góc với trục quay, có bán kính bằng khoảng cách từ điểm đó đến trục quay, có tâm ở trên trục quay.

– Mọi điểm của vật đều quay được cùng một góc trong cùng một khoảng thời gian.

Trên Hình 1.1, vị trí của vật tại mỗi thời điểm sẽ được xác định bằng góc φ giữa một *mặt phẳng động P* gắn với vật và một *mặt phẳng cố định P_0* (hai mặt phẳng này đều chứa trục quay). Góc φ được gọi là *toạ độ góc* của vật.

Góc φ đo bằng *rađian* (rad).

Để đơn giản, ta chỉ xét *vật quay theo một chiều và chọn chiều dương là chiều quay của vật*, khi đó $\varphi > 0$.

Khi vật rắn quay, sự biến thiên của φ theo thời gian t thể hiện quy luật chuyển động của mặt phẳng P, cũng chính là thể hiện quy luật chuyển động quay của vật quanh trục cố định Az.



Hình 1.2 Khi vật rắn có dạng phẳng quay trong mặt phẳng của nó quanh tâm O (chẳng hạn, một đĩa compact quay quanh trục vuông góc với mặt đĩa), thay cho mặt phẳng động P và mặt phẳng cố định P_0, ta chỉ cần lấy một bán kính động OM nào đó và một nửa đường thẳng OM_0 cố định.

2. Tốc độ góc

Ở thời điểm t, toạ độ góc của vật là φ. Ở thời điểm $t + \Delta t$, toạ độ góc của vật là $\varphi + \Delta\varphi$. Như vậy, trong khoảng thời gian Δt, góc quay của vật là $\Delta\varphi$.

Tốc độ góc trung bình ω_{tb} của vật rắn trong khoảng thời gian Δt là :

$$\omega_{tb} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (1.1)$$

Tốc độ góc tức thời ở một thời điểm t được xác định bằng giới hạn của tỉ số $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ khi Δt tiến dần tới 0. Như vậy :

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}, \text{ hay } \omega = \varphi'(t) \qquad (1.2)$$

C2 Một đĩa compact trong ổ đọc của một máy vi tính đang quay đều với tốc độ quay 450 vòng/phút. Hãy xác định tốc độ góc của đĩa bằng đơn vị rad/s.

Tốc độ góc tức thời (gọi tắt là tốc độ góc) là đại lượng đặc trưng cho mức độ nhanh, chậm của chuyển động quay của vật rắn quanh một trục ở thời điểm *t* và được xác định bằng đạo hàm của toạ độ góc theo thời gian.

Đơn vị của tốc độ góc là rad/s.

3. Gia tốc góc

Tại thời điểm t, vật có tốc độ góc là ω. Tại thời điểm $t + \Delta t$, vật có tốc độ góc là $\omega + \Delta\omega$. Như vậy, trong khoảng thời gian Δt, tốc độ góc của vật biến thiên một lượng là $\Delta\omega$.



Hình 1.3 Bánh xe đạp quay quanh trục cố định.

C3 Trên Hình 1.3, một bánh xe đạp quay từ trạng thái đứng yên, sau 2 s nó đạt được tốc độ góc 10 rad/s. Gia tốc góc trung bình trong thời gian đó của bánh xe có giá trị bằng bao nhiêu ?

Bảng 1.1

Sự tương ứng giữa các đại lượng góc trong chuyển động quay và các đại lượng dài trong chuyển động thẳng.

Đại lượng góc	Đại lượng dài
Toạ độ góc φ	Toạ độ x
Tốc độ góc ω	Tốc độ v
Gia tốc góc γ	Gia tốc a

Gia tốc góc trung bình của vật trong khoảng thời gian Δt là :

$$\gamma_{tb} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1.3)$$

Gia tốc góc tức thời ở thời điểm t được xác định bằng giới hạn của tỉ số $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ khi Δt tiến dần tới 0. Như vậy :

$$\gamma = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}, \text{hay } \gamma = \omega'(t) \quad (1.4)$$

Gia tốc góc tức thời (gọi tắt là gia tốc góc) của vật rắn quay quanh một trục ở thời điểm t là đại lượng đặc trưng cho sự biến thiên của tốc độ góc ở thời điểm đó và được xác định bằng đạo hàm của tốc độ góc theo thời gian.

Đơn vị của gia tốc góc là rad/s^2.

4. Các phương trình động học của chuyển động quay

Ta xét hai dạng chuyển động quay quan trọng, đó là chuyển động quay với tốc độ góc không đổi và chuyển động quay với gia tốc góc không đổi.

a) Trong trường hợp tốc độ góc của vật rắn không đổi theo thời gian (ω = hằng số) thì chuyển động của vật rắn là *chuyển động quay đều*.

Từ công thức (1.1), chọn gốc thời gian $t = 0$ là lúc mặt phẳng P lệch với mặt phẳng P_0 một góc φ_0, ta suy ra :

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t \quad (1.5)$$

trong đó φ_0 là toạ độ góc ban đầu, lúc $t = 0$.

Phương trình (1.5) là *phương trình chuyển động của vật rắn quay đều* quanh một trục cố định.

b) Trong trường hợp gia tốc góc của vật rắn không đổi theo thời gian (γ = hằng số) thì chuyển động của vật rắn là *chuyển động quay biến đổi đều*.

Các phương trình của chuyển động quay biến đổi đều của vật rắn quanh một trục cố định có dạng :

$$\omega = \omega_0 + \gamma t \quad (1.6)$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\gamma t^2 \quad (1.7)$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\gamma(\varphi - \varphi_0) \quad (1.8)$$

(φ_0, ω_0 là toạ độ góc và tốc độ góc ban đầu tại thời điểm $t = 0$).

Nếu vật quay theo một chiều nhất định và tốc độ góc ω tăng theo thời gian thì chuyển động quay là *nhanh dần* ($\gamma > 0$).

Nếu tốc độ góc ω giảm theo thời gian thì chuyển động quay là *chậm dần* ($\gamma < 0$).

5. Vận tốc và gia tốc của các điểm trên vật quay

Ở lớp 10, ta đã biết giữa tốc độ góc ω và tốc độ dài v của một điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn có bán kính r, có hệ thức :

$$v = \omega r \quad (1.9)$$

Nếu *vật rắn quay đều* thì mỗi điểm của vật chuyển động tròn đều. Khi đó vectơ vận tốc $\vec{v}$ của mỗi điểm chỉ thay đổi về hướng mà không thay đổi về độ lớn, do đó mỗi điểm của vật có gia tốc hướng tâm với độ lớn được xác định bởi :

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (1.10)$$

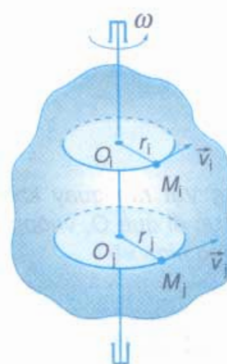
Nếu *vật rắn quay không đều* thì mỗi điểm của vật cũng chuyển động tròn không đều. Khi đó vectơ vận tốc $\vec{v}$ của mỗi điểm thay đổi cả về hướng lẫn độ lớn. Trong trường hợp này, vectơ gia

C4 Dựa vào sự tương ứng giữa các đại lượng góc trong *chuyển động quay biến đổi đều* quanh trục cố định với các đại lượng dài trong *chuyển động thẳng biến đổi đều*, hãy điền vào các ô trống công thức tương tự ở cột bên cạnh trong Bảng 1.2

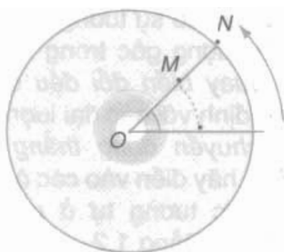
Bảng 1.2

Chuyển động quay (quanh trục cố định)	Chuyển động thẳng biến đổi đều
?	$v = v_0 + at$
$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\gamma t^2$	?
?	$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$

Khi vật rắn quay, mỗi điểm của vật (trừ các điểm nằm trên trục quay) đều có cùng φ, ω và γ. Vì thế, các công thức trên không những dùng được cho vật rắn quay, xét về toàn bộ, mà còn dùng được cho cả mỗi điểm của vật đó.



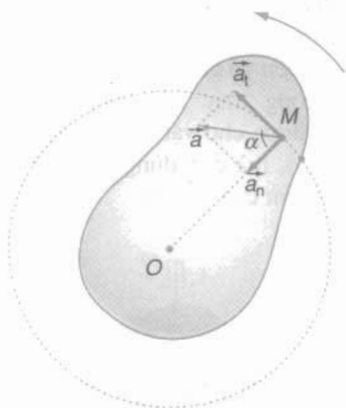
Hình 1.4 Khi vật rắn quay quanh trục cố định, các điểm trên vật có cùng tốc độ góc. Điểm nào càng ở xa trục quay thì có tốc độ dài càng lớn.



Hình 1.5 Một đĩa compact đang quay đều.

C5 Trong Hình 1.5, hãy so sánh gia tốc hướng tâm của điểm *N* trên vành đĩa với gia tốc hướng tâm của điểm *M* cách trục quay một khoảng cách bằng nửa bán kính của đĩa.

C6 Khi vật quay không đều, vectơ gia tốc $\vec{a}$ của mỗi điểm trên vật rắn có đặc điểm gì khác với khi vật quay đều ?



Hình 1.6 Vật rắn quay không đều quanh trục đi qua O, vuông góc với mặt phẳng hình vẽ.

tốc $\vec{a}$ của mỗi điểm có hai thành phần (Hình 1.6) :

– Thành phần $\vec{a}_n$ vuông góc với $\vec{v}$, đặc trưng cho sự thay đổi về hướng của $\vec{v}$, thành phần này chính là *gia tốc hướng tâm.*

– Thành phần $\vec{a}_t$ có phương của $\vec{v}$, đặc trưng cho sự thay đổi về độ lớn của $\vec{v}$, được gọi là *gia tốc tiếp tuyến* :

$$a_t = \frac{dv}{dt} = v' = (r\omega)'$$

Từ đó :

$$a_t = r\gamma \qquad (1.11)$$

$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$ gọi là gia tốc của điểm chuyển động tròn không đều.

Độ lớn của gia tốc $\vec{a}$:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} \qquad (1.12)$$

Vectơ gia tốc $\vec{a}$ hợp với bán kính *OM* góc α, với :

$$\tan\alpha = \frac{a_t}{a_n} = \frac{\gamma}{\omega^2} \qquad (1.13)$$

CÂU HỎI

1. Nêu sự tương ứng giữa các đại lượng góc trong chuyển động quay và các đại lượng dài trong chuyển động thẳng.
2. Viết các phương trình của chuyển động quay biến đổi đều của vật rắn quanh một trục cố định.
3. Viết công thức tính gia tốc tiếp tuyến, gia tốc hướng tâm của một điểm chuyển động tròn không đều.



BÀI TẬP

1. Một cánh quạt dài 20 cm, quay với tốc độ góc không đổi là ω = 94 rad/s. Tốc độ dài của một điểm ở đầu ngoài của cánh quạt bằng

A. 37,6 m/s. B. 23,5 m/s. C. 18,8 m/s. D. 47 m/s.

2. Hai học sinh *A* và *B* đứng trên chiếc đu quay tròn, *A* ở ngoài rìa, *B* ở cách tâm một đoạn bằng nửa bán kính của đu. Gọi ω_A, ω_B, γ_A, γ_B lần lượt là tốc độ góc và gia tốc góc của *A* và *B* Kết luận nào sau đây là đúng ?

A. $\omega_A = \omega_B$, $\gamma_A = \gamma_B$. B. $\omega_A > \omega_B$, $\gamma_A > \gamma_B$.

C. $\omega_A < \omega_B$, $\gamma_A = 2\gamma_B$. D. $\omega_A = \omega_B$, $\gamma_A > \gamma_B$.

3. Một điểm ở trên vật rắn cách trục quay một khoảng *R*. Khi vật rắn quay đều quanh trục, điểm đó có tốc độ dài là *v*. Tốc độ góc của vật rắn là

A. $\omega = \dfrac{v}{R}$. B. $\omega = \dfrac{v^2}{R}$. C. $\omega = vR$. D. $\omega = \dfrac{R}{v}$.

4. Bánh đà của một động cơ từ lúc khởi động đến lúc đạt tốc độ góc 140 rad/s phải mất 2 s.

Biết động cơ quay nhanh dần đều. Góc quay của bánh đà trong thời gian trên bằng

A. 140 rad. B. 70 rad. C. 35 rad. D. 35π rad.

5. Một bánh xe quay nhanh dần đều quanh trục. Lúc $t = 0$ bánh xe có tốc độ góc 5 rad/s. Sau 5 s, tốc độ góc của nó tăng lên đến 7 rad/s. Gia tốc góc của bánh xe là

A. 0,2 rad/s^2. B. 0,4 rad/s^2. C. 2,4 rad/s^2. D. 0,8 rad/s^2.

6. Rôto của một động cơ quay đều, cứ mỗi phút quay được 3 000 vòng. Trong 20 s, rôto quay được một góc bằng bao nhiêu ?

7. Cánh quạt của máy phát điện chạy bằng sức gió dài 4 m, quay đều với tốc độ 45 vòng/phút. Tính tốc độ dài tại một điểm nằm ở đầu ngoài của cánh quạt.

8. Tại thời điểm $t = 0$, một bánh xe đạp bắt đầu quay quanh một trục với gia tốc góc không đổi. Sau 5 s nó quay được một góc 25 rad. Tính tốc độ góc và gia tốc góc của bánh xe tại thời điểm $t = 5$ s.

2 PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA VẬT RẮN QUAY QUANH MỘT TRỤC CỐ ĐỊNH

Trong chuyển động của chất điểm, giữa gia tốc của chất điểm và lực tác dụng có mối liên hệ được diễn tả bằng định luật II Niu-tơn $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Câu hỏi đặt ra là trong chuyển động quay của vật rắn, giữa gia tốc góc và momen lực có mối liên hệ như thế nào ?

1. Mối liên hệ giữa gia tốc góc và momen lực

C1 Khi dùng tay đẩy (hoặc kéo) cánh cửa, ta có thể thay đổi các yếu tố nào để làm cánh cửa quay càng mạnh ?

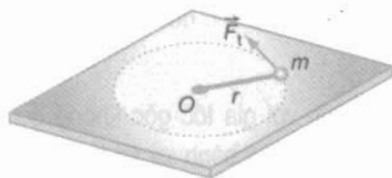
a) Momen lực đối với một trục quay

Ở lớp 10, ta đã biết momen của lực $\vec{F}$ đối với một trục quay (trong trường hợp lực $\vec{F}$ nằm trong mặt phẳng vuông góc với trục đó) có độ lớn bằng :

$$M = Fd \qquad (2.1)$$

trong đó d là *tay đòn* của lực (khoảng cách từ trục quay đến giá của lực). Đơn vị của momen lực là N.m.

Ta chọn chiều quay của vật làm chiều dương và quy ước momen lực có giá trị dương nếu nó có tác dụng làm vật quay theo chiều đã chọn, có giá trị âm nếu nó có tác dụng làm vật quay theo chiều ngược lại.



Hình 2.1 Vật rắn gồm một quả cầu nhỏ khối lượng m gắn vào đầu một thanh rất nhẹ, có độ dài r quay trên mặt phẳng nhẵn nằm ngang xung quanh một trục thẳng đứng đi qua đầu O của thanh.

b) Mối liên hệ giữa gia tốc góc và momen lực

• Ta xét trường hợp đơn giản nhất : Vật rắn gồm một quả cầu nhỏ khối lượng m gắn vào đầu một thanh rất nhẹ, có độ dài r. Vật chỉ có thể quay

trên mặt phẳng nhẵn nằm ngang xung quanh một trục thẳng đứng đi qua đầu O của thanh (Hình 2.1).

Tác dụng vào quả cầu một lực $\vec{F}_t$ theo phương tiếp tuyến với quỹ đạo tròn của quả cầu. Lực $\vec{F}_t$ gây ra cho vật gia tốc tiếp tuyến $\vec{a}_t$:

$$F_t = ma_t \quad (2.2)$$

Momen của lực $\vec{F}_t$ đối với trục quay qua O :

$$M = F_t r \quad (2.3)$$

Thay (2.2) vào (2.3) và chú ý rằng $a_t = r\gamma$, ta được :

$$M = ma_t r = m(r\gamma)r$$

$$M = (mr^2)\gamma \quad (2.4)$$

• Bây giờ, ta hãy xét trường hợp vật rắn gồm nhiều chất điểm khối lượng m_i, m_j,... ở cách trục quay những khoảng cách r_i, r_j,... khác nhau (Hình 2.2).

Momen lực tác dụng lên mỗi chất điểm liên hệ với gia tốc góc bằng phương trình :

$$M_i = (m_i r_i^2)\gamma \quad (2.5)$$

Vì các chất điểm của vật rắn có cùng gia tốc góc, nên tổng các momen lực tác dụng lên toàn bộ vật rắn liên hệ với gia tốc góc bằng phương trình :

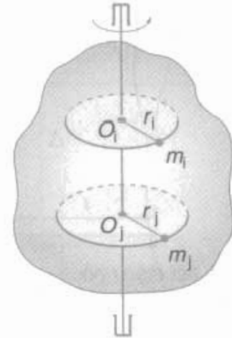
$$M = \sum_i M_i = \left(\sum_i m_i r_i^2\right)\gamma \quad (2.6)$$

2. Momen quán tính

Phương trình (2.6) cho thấy với cùng momen lực M tác dụng, vật rắn nào có $\sum_i m_i r_i^2$ lớn thì gia tốc góc γ nhỏ, nghĩa là trong chuyển động quay, vật đó có quán tính lớn.

C2 Vì sao chúng ta không quan tâm đến lực pháp tuyến $\vec{F}_n$?

Phương trình (2.4) là dạng khác của định luật II Niu-tơn, trong đó thay cho lực là momen lực, thay cho gia tốc a là gia tốc góc γ.



Hình 2.2 Trường hợp vật rắn gồm nhiều chất điểm khối lượng m_i, m_j,... ở cách trục quay những khoảng cách r_i, r_j,... khác nhau.

Trong số các lực tác dụng lên các chất điểm chỉ có một số là ngoại lực, còn lại là nội lực, tức là lực liên kết giữa các chất điểm của vật rắn. Các nội lực luôn xuất hiện từng cặp trực đối nhau nên tổng đại số momen của các nội lực luôn bằng 0. Do đó, trong phương trình (2.6), M chỉ là tổng đại số momen của các ngoại lực.

C3 Từ phương trình (2.6) ta có thể rút ra nhận xét gì về ý nghĩa vật lí của đại lượng $\sum_i m_i r_i^2$?

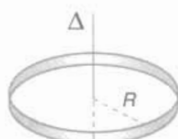
Bảng 2.1

So sánh chuyển động quay và chuyển động tịnh tiến.

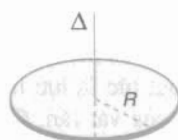
$M = I\gamma$	$F = ma$
Momen lực M Gia tốc góc γ Momen quán tính I	Lực F Gia tốc a Khối lượng m



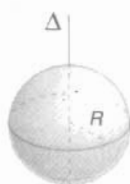
a) Thanh có tiết diện nhỏ so với độ dài $I = \frac{1}{12}ml^2$



b) Vành tròn bán kính R $I = mR^2$



c) Đĩa tròn mỏng $I = \frac{1}{2}mR^2$



d) Khối cầu đặc $I = \frac{2}{5}mR^2$

Hình 2.3 Momen quán tính của một số vật đồng chất đối với trục đối xứng Δ ; m là khối lượng của vật.

Đại lượng $\sum_i m_i r_i^2$ đặc trưng cho mức quán tính của vật quay và được gọi là *momen quán tính*, kí hiệu là I. Momen quán tính $I = \sum_i m_i r_i^2$ trong phương trình (2.6) có vai trò như khối lượng m trong phương trình $F = ma$.

Momen quán tính I đối với một trục là đại lượng đặc trưng cho mức quán tính của vật rắn trong chuyển động quay quanh trục ấy.

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \qquad (2.7)$$

Độ lớn của momen quán tính của một vật rắn không chỉ phụ thuộc khối lượng của vật rắn mà còn *phụ thuộc cả vào sự phân bố khối lượng xa hay gần trục quay*. Momen quán tính có đơn vị là kg.m^2.

Chẳng hạn, nếu xem Trái Đất là một vật rắn có dạng một khối cầu đồng chất với bán kính trung bình là 6 400 km và khối lượng xấp xỉ $6{,}0.10^{24}$ kg thì momen quán tính của Trái Đất đối với trục quay đi qua tâm của nó được tính như sau :

$$I = \frac{2}{5}mR^2$$

$$= \frac{2}{5}.6{,}0.10^{24}.(6{,}4.10^6)^2 = 9{,}8.10^{37}\ \text{kg.m}^2$$

3. Phương trình động lực học của vật rắn quay quanh một trục cố định

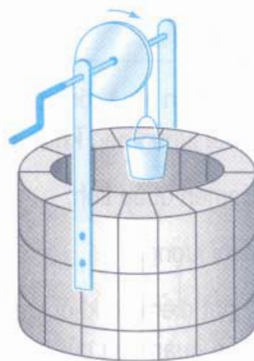
Với khái niệm momen quán tính, ta viết lại phương trình (2.6) như sau :

$$M = I\gamma \qquad (2.8)$$

Phương trình (2.8) là *phương trình động lực học của vật rắn quay quanh một trục cố định*. Đây là *phương trình cơ bản* của chuyển động quay của vật rắn.

4. Bài tập ví dụ

Một thùng nước được thả xuống giếng nhờ một sợi dây dài quấn quanh một hình trụ có bán kính R và momen quán tính I. Khối lượng của dây và momen quán tính của tay quay không đáng kể. Hình trụ coi như quay tự do không ma sát quanh một trục cố định (Hình 2.4). Giả thiết dây không dãn và không trượt trên hình trụ khi quay. Khối lượng của thùng nước là m. Tính gia tốc của thùng nước.



Hình 2.4

Bài giải

Áp dụng định luật II Niu-tơn cho chuyển động tịnh tiến của thùng nước, ta có :

$$mg - T = ma \qquad (1)$$

T là lực căng của sợi dây, a là gia tốc của thùng nước.

Áp dụng phương trình động lực học cho chuyển động quay của hình trụ, ta có :

$$M = TR = I\gamma \qquad (2)$$

Do dây không dãn và không trượt trên hình trụ nên giữa gia tốc của thùng nước và gia tốc góc của một điểm trên vành hình trụ có hệ thức :

$$\gamma = \frac{a}{R} \qquad (3)$$

Từ (2), suy ra :

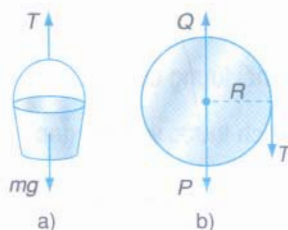
$$T = \frac{I\gamma}{R} = \frac{Ia}{R^2} \qquad (4)$$

Thay T từ (4) vào (1), ta được :

$$mg - \frac{Ia}{R^2} = ma$$

Suy ra :

$$a = \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{I}{mR^2}\right)}g$$



Hình 2.5 *Các lực tác dụng lên mỗi vật trong hệ.*

Phân tích bài toán

– Chuyển động của thùng nước là chuyển động tịnh tiến.

– Chuyển động của hình trụ là chuyển động quay quanh một trục cố định.

– Gia tốc tịnh tiến của thùng và gia tốc góc của hình trụ liên hệ nhau bằng hệ thức : $\gamma = \frac{a}{R}$.

CÂU HỎI

1. Viết biểu thức và nêu ý nghĩa của momen quán tính của một vật rắn đối với chuyển động quay.
2. Viết phương trình động lực học của vật rắn quay quanh một trục cố định và lí giải vì sao có thể gọi phương trình này là phương trình cơ bản của chuyển động quay của vật rắn.



BÀI TẬP

1. Một momen lực không đổi tác dụng vào một vật có trục quay cố định. Trong những đại lượng dưới đây, đại lượng nào **không phải** là một hằng số ?

A. Momen quán tính.
B. Gia tốc góc.
C. Khối lượng.
D. Tốc độ góc.

2. Hai chất điểm có khối lượng 1 kg và 2 kg được gắn ở hai đầu của một thanh nhẹ có độ dài 1 m. Momen quán tính của hệ đối với trục quay đi qua trung điểm của thanh và vuông góc với thanh có giá trị

A. 1,5 kg.m^2.
B. 0,75 kg.m^2.
C. 0,5 kg.m^2.
D. 1,75 kg.m^2.

3. Momen quán tính của một vật rắn **không** phụ thuộc vào

A. khối lượng của vật.
B. tốc độ góc của vật.
C. kích thước và hình dạng của vật.
D. vị trí trục quay của vật.

4. Phát biểu nào sau đây **không đúng** đối với chuyển động quay đều của vật rắn quanh một trục ?

A. Tốc độ góc là một hàm bậc nhất đối với thời gian.

B. Gia tốc góc của vật bằng 0.

C. Trong những khoảng thời gian bằng nhau, vật quay được những góc bằng nhau.

D. Phương trình chuyển động là một hàm bậc nhất đối với thời gian.

5. Một cậu bé đẩy một chiếc đu quay có đường kính 4 m với một lực 60 N đặt tại vành của chiếc đu theo phương tiếp tuyến. Momen lực tác dụng vào đu quay có giá trị

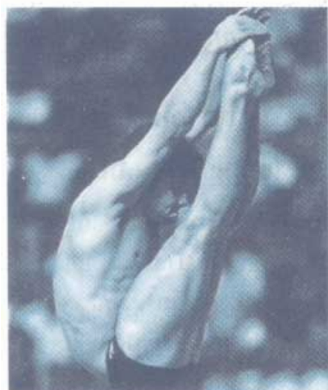
A. 30 N.m.
B. 15 N.m.
C. 240 N.m.
D. 120 N.m.

6. Một đĩa tròn đồng chất có bán kính R = 0,5 m, khối lượng m = 1 kg. Tính momen quán tính của đĩa đối với trục vuông góc với mặt đĩa tại tâm O của đĩa.

7. Một ròng rọc có bán kính 20 cm, có momen quán tính 0,04 kg.m^2 đối với trục của nó. Ròng rọc chịu tác dụng bởi một lực không đổi 1,2 N tiếp tuyến với vành. Lúc đầu ròng rọc đứng yên. Tính tốc độ góc của ròng rọc sau khi quay được 5 s. Bỏ qua mọi lực cản.

8. Một bánh xe có momen quán tính đối với trục quay cố định là 6 kg.m^2, đang đứng yên thì chịu tác dụng của một momen lực 30 N.m đối với trục quay. Bỏ qua mọi lực cản. Sau bao lâu, kể từ khi bắt đầu quay, bánh xe đạt tới tốc độ góc 100 rad/s ?

3 MOMEN ĐỘNG LƯỢNG ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN MOMEN ĐỘNG LƯỢNG





Các vận động viên nhảy cầu đang biểu diễn các tư thế xoắn người thật ngoạn mục. Ta hãy tìm hiểu vì sao khi nhảy từ ván cầu xuống nước, họ thường thực hiện động tác gập người và bó gối thật chặt lúc xoay người ở trên không. Sau đó, họ phải làm thế nào để ngừng quay và lao mình vào trong nước ?

1. Momen động lượng

a) Dạng khác của phương trình động lực học của vật rắn quay quanh một trục cố định

Ta đã biết phương trình động lực học của vật rắn quay quanh một trục cố định có dạng :

$$M = I\gamma$$

hay

$$M = I\frac{d\omega}{dt}$$

Trong trường hợp momen quán tính I không đổi, ta có thể viết :

$$M = \frac{d(I\omega)}{dt} \qquad (3.1)$$

Đặt :

$$L = I\omega \qquad (3.2)$$

thì phương trình động lực học của vật rắn quay quanh một trục cố định được viết dưới dạng :

$$M = \frac{dL}{dt} \qquad (3.3)$$

C1 So sánh phương trình (3.3) với phương trình :

$$F = ma = m\frac{dv}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{dp}{dt}$$

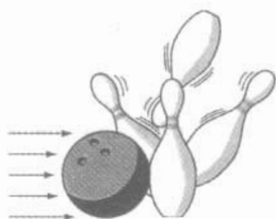
trong đó $p = mv$ là động lượng của chất điểm, ta có thể rút ra nhận xét gì về ý nghĩa vật lí của đại lượng $L = I\omega$?

Bảng 3.1

So sánh chuyển động quay của vật rắn và chuyển động của chất điểm.

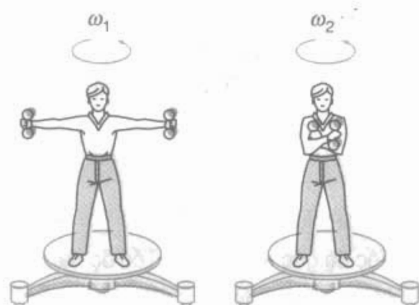
$M = \frac{dL}{dt}$	$F = \frac{dp}{dt}$
Momen lực M	Lực F
Tốc độ góc ω	Tốc độ dài v
Momen quán tính I	Khối lượng m
Momen động lượng : $L = I\omega$	Động lượng : $p = mv$

C2 Một quả bowling (dạng một quả cầu đặc) có momen quán tính đối với trục đối xứng của nó là 0,06 kg.m^2 (Hình 3.1). Tính momen động lượng của quả bowling đối với trục quay đi qua tâm của nó tại thời điểm mà nó có tốc độ góc là 40 rad/s.



Hình 3.1 Chuyển động của quả bowling.

C3 Dựa vào định luật bảo toàn momen động lượng, hãy giải thích sự khác biệt của chuyển động quay ở hai tư thế trên Hình 3.2.



Hình 3.2 Người đứng trên bàn xoay đang quay.

Phương trình (3.3) cũng đúng cho cả trường hợp momen quán tính của vật hoặc của hệ thay đổi (do vật thay đổi hình dạng chẳng hạn).

b) Momen động lượng

Đại lượng $L = I\omega$ trong chuyển động quay tương ứng với động lượng $p = mv$ trong chuyển động tịnh tiến. Vì thế, ta gọi $L = I\omega$ là *momen động lượng* của vật rắn đối với trục quay.

Đơn vị của momen động lượng là kg.m^2/s.

Ta giả thiết coi Trái Đất như là một vật rắn có dạng một khối cầu đồng chất, momen quán tính của Trái Đất đối với trục quay đi qua tâm của nó là 9,8.10^{37} kg.m^2, chu kì của chuyển động quay quanh trục là 24 h. Momen động lượng của Trái Đất trong chuyển động quay quanh trục của nó được tính như sau :

$$L = I\omega = I\frac{2\pi}{T} = 9{,}8.10^{37}.\frac{2\pi}{24.3600}$$
$$= 7{,}1.10^{33} \text{ kg.m}^2/\text{s}$$

2. Định luật bảo toàn momen động lượng

Từ phương trình (3.3), nếu $M = \dfrac{dL}{dt} = 0$ thì :

$$L = \text{hằng số} \quad (3.4)$$

Đó là nội dung của định luật bảo toàn momen động lượng, được phát biểu như sau :

Nếu tổng các momen lực tác dụng lên một vật rắn (hay hệ vật) đối với một trục cố định bằng 0 thì tổng momen động lượng của vật rắn (hay hệ vật) đối với trục đó được bảo toàn.

Trong trường hợp vật có momen quán tính đối với trục quay không đổi thì vật không quay hoặc quay đều quanh trục đó.

Trong trường hợp vật (hoặc hệ vật) có momen quán tính đối với trục quay thay đổi, ta có $I\omega$ = hằng số. Từ đó, suy ra :

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2 \quad (3.5)$$

trong đó $I_1\omega_1$ là momen động lượng của vật (hoặc hệ vật) lúc trước và $I_2\omega_2$ là momen động lượng của vật (hoặc hệ vật) lúc sau.

C4 Hãy trả lời câu hỏi nêu ở phần mở bài.

CÂU HỎI

1. Phát biểu định luật bảo toàn momen động lượng.

2. Các vận động viên nhảy cầu khi nhảy từ ván cầu xuống nước có động tác "bó gối" thật chặt lúc ở trên không. Giải thích tại sao làm như thế lại tăng tốc độ quay.

BÀI TẬP

1. Một vật có momen quán tính đối với trục quay cố định là 0,72 kg.m^2, quay đều 10 vòng trong 1,8 s. Momen động lượng của vật đối với trục quay đó có độ lớn bằng

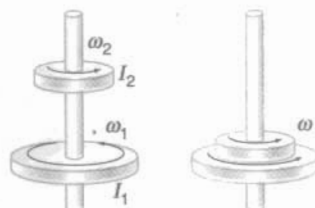
   A. 4 kg.m^2/s. B. 8 kg.m^2/s.

   C. 13 kg.m^2/s. D. 25 kg.m^2/s.

2. Hai đĩa tròn có momen quán tính I_1 và I_2 đang quay đồng trục và cùng chiều với tốc độ góc ω_1 và ω_2 (Hình 3.3). Ma sát ở trục quay nhỏ không đáng kể. Sau đó cho hai đĩa dính vào nhau, hệ hai đĩa quay với tốc độ góc ω được xác định bằng công thức

   A. $\omega = \dfrac{I_1 + I_2}{I_1\omega_1 + I_2\omega_2}$. B. $\omega = \dfrac{I_1\omega_1 + I_2\omega_2}{I_1 + I_2}$.

   C. $\omega = \dfrac{I_1\omega_2 + I_2\omega_1}{I_1 + I_2}$. D. $\omega = \dfrac{I_1\omega_1 - I_2\omega_2}{I_1 + I_2}$.



Hình 3.3

3. Một người đứng trên một chiếc ghế đang quay, hai tay cầm hai quả tạ. Khi người ấy dang tay theo phương ngang, ghế và người quay với tốc độ góc ω_1. Ma sát ở trục quay nhỏ không đáng kể. Sau đó, người ấy co tay lại kéo hai quả tạ vào gần sát vai. Tốc độ góc mới của hệ "người + ghế"

   A. tăng lên. B. giảm đi.

   C. lúc đầu tăng, sau đó giảm dần đến 0. D. lúc đầu giảm, sau đó bằng 0.

4. Một đĩa tròn đồng chất có bán kính R = 0,5 m, khối lượng m = 1 kg quay đều với tốc độ góc ω = 6 rad/s quanh một trục thẳng đứng đi qua tâm của đĩa. Tính momen động lượng của đĩa đối với trục quay đó.

Em có biết ?

ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN MOMEN ĐỘNG LƯỢNG ÁP DỤNG CHO MÁY BAY TRỰC THĂNG

Khi cánh quạt quay, chúng có một momen động lượng đối với trục quay. Thân máy bay có xu hướng quay theo chiều ngược lại, tạo ra momen động lượng ngược dấu. Muốn cho thân máy bay không quay, người ta đặt thêm một cánh quạt nữa quay theo chiều ngược lại, làm thành hệ thống kép (Hình 3.4a), hoặc thêm một cánh quạt nhỏ ở phía sau có mặt phẳng quay thẳng đứng (Hình 3.4b), tạo ra một momen động lượng cân bằng với momen động lượng của cánh quạt trước.



a) *Loại máy bay trực thăng có hai hệ thống cánh quạt.*

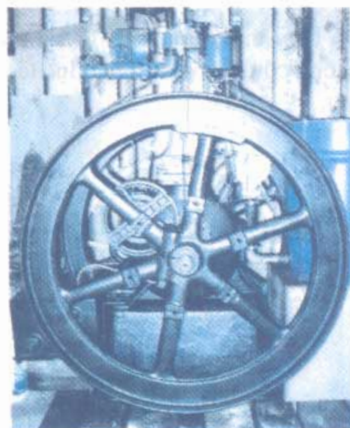


b) *Loại máy bay trực thăng có thêm cánh quạt nhỏ ở phía sau.*

Hình 3.4

4 ĐỘNG NĂNG CỦA VẬT RẮN QUAY QUANH MỘT TRỤC CỐ ĐỊNH

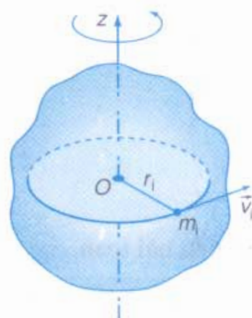
Trong bài này, ta sẽ tìm biểu thức tính động năng của một vật rắn quay quanh một trục cố định như chuyển động quay của bánh đà, chẳng hạn.



Bánh đà được dùng để tích trữ và cung cấp động năng quay trong các động cơ đốt trong.

1. Động năng của một vật rắn quay quanh một trục cố định

Xét một vật rắn quay quanh một trục cố định Oz (Hình 4.1).



Hình 4.1

Ta tưởng tượng vật gồm nhiều chất điểm. Khi vật quay với tốc độ góc ω thì tất cả các chất điểm của vật đều chuyển động trên những đường tròn có tâm nằm trên trục quay với cùng tốc độ góc ω. Chất điểm i của vật có khối lượng m_i và cách trục quay một khoảng r_i thì có tốc độ dài $v_i = \omega r_i$ và có động năng là $\frac{1}{2}m_i v_i^2 = \frac{1}{2}m_i(\omega r_i)^2$.

Động năng của vật rắn là tổng động năng của tất cả các chất điểm tạo nên vật :

$$W_đ = \sum_i \frac{1}{2}m_i(\omega r_i)^2 = \frac{\omega^2}{2}\sum_i m_i r_i^2$$

hay

$$W_đ = \frac{1}{2}I\omega^2 \qquad (4.1)$$

trong đó I là momen quán tính của vật rắn đối với trục quay.

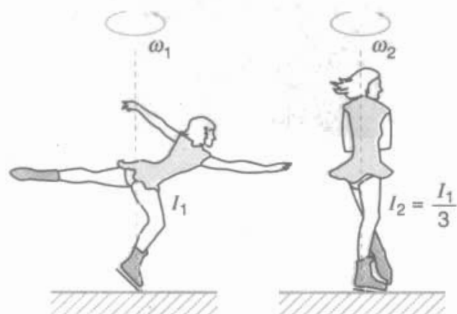
C1 Nêu nhận xét về vai trò của momen quán tính I trong biểu thức (4.1).

C2 Chứng minh rằng động năng của một vật rắn quay quanh trục cố định có thể viết dưới dạng $W_đ = \frac{L^2}{2I}$, trong đó I và L lần lượt là momen quán tính và momen động lượng của vật đối với trục quay đó.

Người ta đã chứng minh được rằng, định lí biến thiên động năng cũng áp dụng được cho một vật rắn quay quanh một trục :

$$\Delta W_đ = \frac{1}{2}I\omega_2^2 - \frac{1}{2}I\omega_1^2 = A$$

Độ biến thiên động năng của một vật bằng tổng công của các ngoại lực tác dụng vào vật.



Hình 4.2

Phân tích bài toán

– Khi vận động viên thay đổi tư thế thì momen quán tính đối với trục quay của người ấy thay đổi.

– Vì tổng momen của các ngoại lực tác dụng lên hệ bằng 0, nên nếu momen quán tính của người đối với trục quay giảm thì theo định luật bảo toàn momen động lượng tốc độ góc lúc cuối của người đó sẽ tăng.

2. Bài tập áp dụng

Một vận động viên trượt băng quay quanh một trục thẳng đứng với tốc độ góc 15 rad/s với hai tay dang ra, momen quán tính của người lúc này đối với trục quay là 1,8 kg.m^2. Sau đó, người này đột ngột thu tay lại dọc theo thân người, trong khoảng thời gian nhỏ tới mức có thể bỏ qua ảnh hưởng của ma sát với mặt băng. Momen quán tính của người lúc đó giảm đi ba lần so với lúc đầu (Hình 4.2).

Tính động năng của người đó lúc đầu và lúc cuối.

Bài giải

Động năng lúc đầu :

$$W_{đ\,(đầu)} = \frac{1}{2}I_1\omega_1^2 = \frac{1}{2}\cdot 1{,}8.15^2 = 202{,}5 \text{ J}$$

Theo định luật bảo toàn momen động lượng :

$$I_2\omega_2 = I_1\omega_1 \Rightarrow \omega_2 = 3\omega_1$$

Động năng lúc cuối là :

$$W_{đ\,(cuối)} = \frac{1}{2}I_2\omega_2^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{I_1}{3}(3\omega_1)^2 = 3W_{đ\,(đầu)}$$

$$= 3.202{,}5 = 607{,}5 \text{ J}$$

CÂU HỎI

1. Viết công thức tính động năng của một vật rắn quay quanh một trục cố định.

2. Nêu nhận xét về vai trò của momen quán tính trong công thức tính động năng quay.

BÀI TẬP

1. Một bánh đà có momen quán tính đối với trục quay cố định là 2,5 kg.m^2, quay đều với tốc độ góc 8 900 rad/s. Động năng quay của bánh đà bằng

A. $9,1.10^8$ J. B. 11 125 J. C. $9,9.10^7$ J. D. 22 250 J.

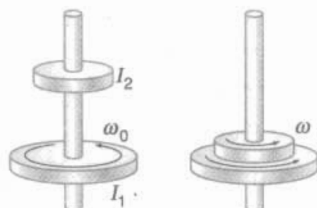
2. Một đĩa tròn có momen quán tính I, đang quay quanh một trục cố định với tốc độ góc ω_0. Ma sát ở trục quay nhỏ không đáng kể. Nếu tốc độ góc của đĩa giảm đi hai lần thì momen động lượng và động năng quay của đĩa đối với trục quay thay đổi thế nào ?

	Momen động lượng	Động năng quay
A.	Tăng bốn lần	Tăng hai lần
B.	Giảm hai lần	Tăng bốn lần
C.	Tăng hai lần	Giảm hai lần
D.	Giảm hai lần	Giảm bốn lần

3. Hai đĩa tròn có cùng momen quán tính đối với cùng trục quay đi qua tâm của các đĩa (Hình 4.3). Lúc đầu, đĩa 2 (ở phía trên) đang đứng yên, đĩa 1 quay với tốc độ góc ω_0. Ma sát ở trục quay nhỏ không đáng kể. Sau đó, cho hai đĩa dính vào nhau, hệ quay với tốc độ góc ω. Động năng của hệ hai đĩa lúc sau so với lúc đầu

A. tăng ba lần. B. giảm bốn lần.

C. tăng chín lần. D. giảm hai lần.



Hình 4.3

4. Hai bánh xe A và B có cùng động năng quay, tốc độ góc $\omega_A = 3\omega_B$. Tỉ số momen quán tính $\frac{I_B}{I_A}$ đối với trục quay đi qua tâm của A và B có giá trị nào sau đây ?

A. 3. B. 9. C. 6. D. 1.

5. Một đĩa tròn đồng chất có bán kính R = 0,5 m, khối lượng m = 1 kg quay đều với tốc độ góc ω = 6 rad/s quanh một trục vuông góc với mặt đĩa và đi qua tâm của đĩa. Tính động năng của đĩa.

6. Một ròng rọc có momen quán tính đối với trục quay cố định là 10 kg.m^2, quay đều với tốc độ 60 vòng/phút. Tính động năng quay của ròng rọc.

7. Một bánh đà quay nhanh dần đều từ trạng thái nghỉ và sau 5 s thì có tốc độ góc 200 rad/s và có động năng quay là 60 kJ. Tính gia tốc góc và momen quán tính của bánh đà đối với trục quay.



BÀI TẬP VỀ ĐỘNG LỰC HỌC VẬT RẮN

Phương pháp giải toán về chuyển động quay của vật rắn tương tự như phương pháp giải toán về chuyển động của một chất điểm. Trước hết, chúng ta xác định rõ đối tượng cần khảo sát là vật hay hệ vật nào, lực và momen lực tương ứng nào tác dụng vào vật hay hệ vật.

Từ phương trình động lực học của vật rắn quay quanh một trục, ta có thể tính được đại lượng vật lí cần tìm (gia tốc, khối lượng, momen quán tính, lực, momen lực,...).

Bài tập 1

Một bánh xe đạp chịu tác dụng của một momen lực M_1 không đổi là 20 N.m. Trong 10 s đầu, tốc độ góc của bánh xe tăng đều từ 0 đến 15 rad/s. Sau đó momen M_1 ngừng tác dụng, bánh xe quay chậm dần đều và dừng hẳn lại sau 30 s. Cho biết momen của lực ma sát có giá trị không đổi trong suốt thời gian bánh xe quay và bằng $0{,}25M_1$.

a) Tính gia tốc góc của bánh xe trong các giai đoạn quay nhanh dần đều và chậm dần đều.

b) Tính momen quán tính của bánh xe đối với trục.

c) Tính động năng quay của bánh xe ở đầu giai đoạn quay chậm dần đều.

Phân tích bài toán

a) Chuyển động của bánh xe gồm hai giai đoạn :

– Giai đoạn đầu (10 s đầu) : quay nhanh dần đều.

– Giai đoạn cuối (30 s cuối) : quay chậm dần đều.

$$|M_{ms}| = 0{,}25M_1 = 0{,}25.20 = 5 \text{ N.m}$$

Vì lực ma sát tạo momen cản làm giảm tốc độ góc, nên :

$$M_{ms} = -5 \text{ N.m}$$

b) Để tính momen quán tính của bánh xe, ta dùng phương trình :

$$M = I\gamma$$

trong đó M là tổng momen lực tác dụng vào bánh xe (giai đoạn quay nhanh dần).

$$M = M_1 + M_{ms}$$

Biết gia tốc góc γ_1 của giai đoạn quay nhanh dần, ta tính được I.

Cách khác : Xét giai đoạn quay chậm dần, ta cũng tính được I.

$$I = \frac{M_{ms}}{\gamma_2} = \frac{-5}{-0{,}5} = 10 \text{ kg.m}^2$$

Bài giải

a) Gia tốc góc của bánh xe

– Giai đoạn quay nhanh dần đều :

$$\gamma_1 = \frac{\omega_1 - \omega_0}{\Delta t_1} = \frac{15 - 0}{10} = 1{,}5 \text{ rad/s}^2$$

– Giai đoạn quay chậm dần đều :

$$\gamma_2 = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t_2} = \frac{0 - 15}{30} = -0{,}5 \text{ rad/s}^2$$

b) Momen quán tính của bánh xe đối với trục

Tổng momen lực tác dụng vào bánh xe :

$$M = M_1 + M_{ms} = 20 + (-5) = 15 \text{ N.m}$$

Từ đó : $I = \dfrac{M}{\gamma_1} = \dfrac{15}{1,5} = 10 \text{ kg.m}^2$.

c) Động năng quay

$$W_đ = \frac{1}{2} I\omega_1^2 = \frac{1}{2}.10.15^2 = 1\ 125 \text{ J}$$

Bài tập 2

Một đĩa tròn đồng chất khối lượng $m = 1$ kg, bán kính $R = 20$ cm đang quay đều quanh trục vuông góc với mặt đĩa và đi qua tâm của đĩa với tốc độ góc $\omega_0 = 10$ rad/s. Tác dụng lên đĩa một momen hãm. Đĩa quay chậm dần đều và dừng lại sau khi đã quay được một góc 10 rad.

a) Tính momen hãm đó.

b) Tính thời gian từ lúc chịu tác dụng của momen hãm đến khi đĩa dừng hẳn.

Bài giải

a) Momen hãm

Gia tốc góc :

$$\gamma = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varphi} = \frac{0 - 10^2}{2.10} = -5 \text{ rad/s}^2$$

Momen hãm $M = I\gamma$, với :

$$I = \frac{1}{2} mR^2 = \frac{1}{2}.1.(0,2)^2 = 0,02 \text{ kg.m}^2$$

ta tính được :

$$M = 0,02.(-5) = -0,1 \text{ N.m}$$

Dấu trừ chứng tỏ momen hãm có tác dụng làm giảm tốc độ quay của đĩa.

c) Để tính động năng quay của bánh xe đối với trục, dùng công thức $W_đ = \dfrac{1}{2} I\omega^2$.

Phân tích bài toán

Câu a) của bài toán này có thể giải bằng phương pháp năng lượng.

Ta tính momen hãm bằng cách dùng định lí động năng : $\Delta W_đ = A$.

Ta có :

$$\Delta W_đ = 0 - \frac{1}{2} I\omega_0^2$$

$$A = F_C s = F_C r\varphi = M\varphi$$

trong đó $M = F_C r$ là momen hãm.

Từ đó, theo định lí động năng thì :

$$-\frac{1}{2} I\omega_0^2 = M\varphi$$

Vậy momen hãm là :

$$M = -\frac{I\omega_0^2}{2\varphi} = -\frac{0,02.10^2}{2.10} = -0,1 \text{ N.m}$$

b) Thời gian đĩa quay đến khi dừng

Từ công thức $\omega = \omega_0 + \gamma t$, suy ra :

$$t = \frac{\omega - \omega_0}{\gamma} = \frac{0 - 10}{-5} = 2\,\text{s}$$

Bài tập 3

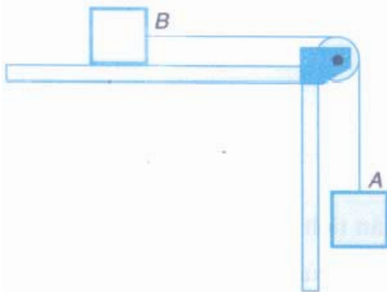
Hai vật A và B có cùng khối lượng $m = 1$ kg, được liên kết với nhau bằng một dây nhẹ, không dãn, vắt qua một ròng rọc có bán kính $R = 10$ cm và momen quán tính $I = 0{,}050$ kg.m^2 (Hình 5.1). Biết dây không trượt trên ròng rọc nhưng không biết giữa vật B và bàn có ma sát hay không. Lúc đầu, các vật được giữ đứng yên, sau đó hệ vật được thả ra. Người ta thấy sau 2 s, ròng rọc quay quanh trục của nó được 2 vòng và gia tốc của các vật A, B không đổi. Cho $g = 9{,}80$ m/s^2. Coi ma sát ở trục của ròng rọc không đáng kể.

a) Tính gia tốc góc của ròng rọc.

b) Tính gia tốc của hai vật.

c) Tính lực căng của dây ở hai bên của ròng rọc.

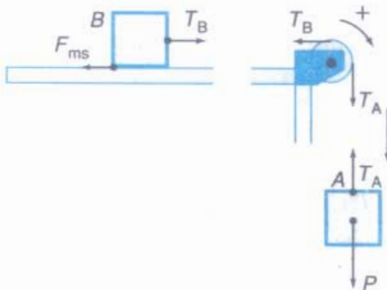
d) Có ma sát giữa vật B và mặt bàn hay không ? Nếu có, hãy tính hệ số ma sát.



Hình 5.1

Phân tích bài toán

Hình 5.2 cho biết các lực tác dụng vào vật A, B và ròng rọc, chiều dương cho chuyển động của mỗi vật.



Hình 5.2

Lưu ý rằng :

– Vì dây không trượt trên ròng rọc, nên :

$$a = R\gamma$$

– Vì gia tốc a không đổi nên γ cũng không đổi, ròng rọc quay nhanh dần đều.

Bài giải

a) Tính gia tốc góc của ròng rọc

Từ công thức $\varphi = \frac{1}{2}\gamma t^2$, suy ra $\gamma = \frac{2\varphi}{t^2}$.

Thay số :

$$\gamma = \frac{2.4\pi}{2^2} = 6{,}28\ \text{rad/s}^2$$

b) Tính gia tốc của hai vật

$$a = R\gamma = 0{,}1.6{,}28 \approx 0{,}63\ \text{m/s}^2$$

c) Tính lực căng của dây ở hai bên ròng rọc

– Xét vật A :

$$P - T_A = ma$$

Suy ra :

$$T_A = P - ma = m(g - a)$$

Thay số :

$$T_A = 1(9,8 - 0,63) \approx 9,17 \text{ N}$$

– Xét ròng rọc :

$$(T_A - T_B)R = I\gamma$$

Suy ra :

$$T_A - T_B = I\frac{\gamma}{R} \text{ hay } T_B = T_A - I\frac{\gamma}{R}$$

Thay số :

$$T_B = 9,17 - 0,05.\frac{6,28}{0,1} = 6,03 \text{ N}$$

d) Vì $T_B = 6,03$ N > ma, suy ra giữa vật B và bàn có ma sát, độ lớn của lực ma sát được tính như sau :

– Xét vật B (Hình 5.3) :

$$T_B - F_{ms} = ma$$

Suy ra :

$$F_{ms} = T_B - ma = 6,03 - 1.0,63 = 5,4 \text{ N}$$

Hệ số ma sát giữa vật B và mặt bàn là :

$$\mu = \frac{F_{ms}}{mg} = \frac{5,40}{1.9,8} \approx 0,55$$

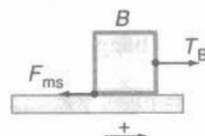
a) Biết góc quay và thời gian quay, ta tính gia tốc góc từ công thức $\gamma = \frac{2\varphi}{t^2}$.

b) Để tính lực căng của dây treo vật A, ta áp dụng phương trình động lực học cho vật A.

c) Để tính lực căng T_B, ta cần xét chuyển động quay của ròng rọc dưới tác dụng của các momen lực.

Nhận xét về kết quả của bài toán

Do ròng rọc có khối lượng (tức là có kể đến momen quán tính của ròng rọc) nên lực căng của dây ở hai bên ròng rọc có độ lớn khác nhau : $T_A > T_B$.



Hình 5.3

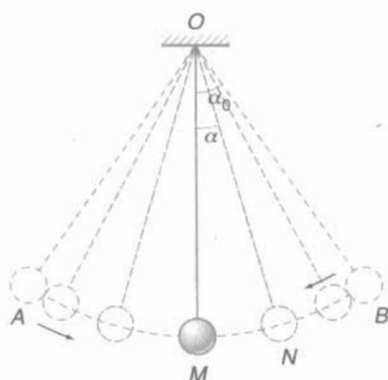
TÓM TẮT CHƯƠNG I

Trong chương này, chúng ta chỉ khảo sát chuyển động quay của một vật rắn quanh một trục cố định (với chiều quay không đổi). Để dễ nhớ các công thức và vận dụng chúng trong việc giải toán, cần lưu ý đến sự tương tự giữa các đại lượng góc đặc trưng cho chuyển động quay và các đại lượng dài đặc trưng cho chuyển động thẳng. Cụ thể là :

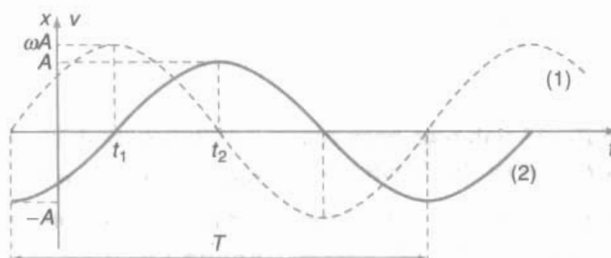
Chuyển động quay (trục quay cố định, chiều quay không đổi)	Chuyển động thẳng (chiều không đổi)
Toạ độ góc φ (rad) Tốc độ góc ω (rad/s) Gia tốc góc γ (rad/s^2) Momen lực M (N.m) Momen quán tính I (kg.m^2) Momen động lượng $L = I\omega$ (kg.m^2/s) Động năng quay $W_đ = \frac{1}{2}I\omega^2$ (J)	Toạ độ x (m) Tốc độ v (m/s) Gia tốc a (m/s^2) Lực F (N) Khối lượng m (kg) Động lượng $p = mv$ (kg.m/s) Động năng $W_đ = \frac{1}{2}mv^2$ (J)
Chuyển động quay đều : ω = hằng số ; $\gamma = 0$; $\varphi = \varphi_0 + \omega t$ Chuyển động quay biến đổi đều : γ = hằng số $\omega = \omega_0 + \gamma t$ $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\gamma t^2$ $\omega^2 - \omega_0^2 = 2\gamma(\varphi - \varphi_0)$	Chuyển động thẳng đều : v = hằng số ; $a = 0$; $x = x_0 + vt$ Chuyển động thẳng biến đổi đều : a = hằng số $v = v_0 + at$ $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ $v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$
Phương trình động lực học : $M = I\gamma$ hay $M = \frac{dL}{dt}$ Định luật bảo toàn momen động lượng : $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$ hay $\sum L_i$ = hằng số	Phương trình động lực học : $F = ma$ hay $F = \frac{dp}{dt}$ Định luật bảo toàn động lượng : $\sum m_i \vec{v}_i$ = không đổi
Công thức liên hệ giữa các đại lượng góc và đại lượng dài $s = r\varphi$; $v = r\omega$; $a_t = r\gamma$; $a_n = r\omega^2$	

CHƯƠNG II

DAO ĐỘNG CƠ



Con lắc dây.

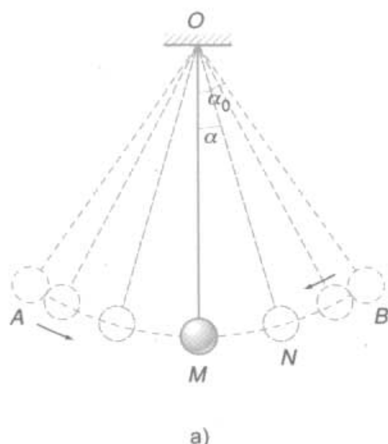


Đồ thị li độ và đồ thị vận tốc của dao động điều hoà.

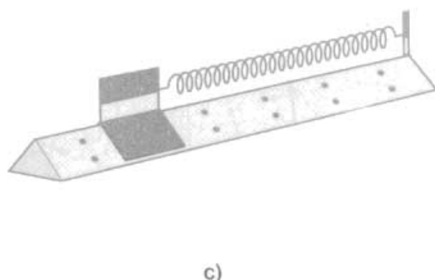
Hằng ngày, chúng ta thấy rất nhiều chuyển động đu đưa, vật chuyển động luôn luôn thay đổi chiều, đi qua đi lại quanh một vị trí cân bằng, đó là chuyển động dao động. Trong chương này, ta sẽ khảo sát chuyển động dao động điều hoà, đưa ra các đại lượng đặc trưng cho chuyển động ấy : biên độ, tần số, pha, pha ban đầu, li độ, vận tốc, gia tốc. Ngoài ra, chúng ta còn xét xem khi nào thì xảy ra dao động điều hoà, dao động tắt dần, dao động duy trì, dao động cưỡng bức.

6 DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

1. Dao động







Hình 6.1

Thí nghiệm về tính tuần hoàn của chuyển động con lắc dây (Hình 6.1a).

Lấy một vật mốc có dạng đoạn thẳng đặt song song với dây treo, ở phía sau dây treo.

Dùng đồng hồ bấm giây đo khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp dây treo đi ngang qua vật mốc theo cùng một chiều và ghi lại kết quả.

Trong phạm vi sai số, những khoảng thời gian đó bằng nhau và bằng chu kì dao động.

Đồ thị dao động

Nếu gọi N là vị trí của vật vào thời điểm t và kí hiệu α là góc hợp bởi đường thẳng đứng OM và dây treo ON, thì đồ thị sự phụ thuộc của α vào thời gian là một đồ thị biểu diễn dao động của vật (Hình 6.2).

Chúng ta hãy quan sát chuyển động của vật nặng trong con lắc dây (a), con lắc lò xo thẳng đứng (b) và con lắc lò xo nằm ngang trên đệm không khí (c) ở Hình 6.1.

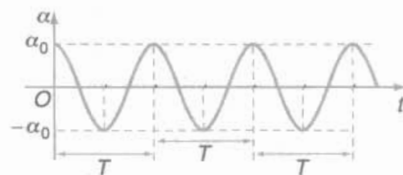
Từ sự quan sát, có thể rút ra các nhận xét sau đây về chuyển động của vật nặng trong cả ba trường hợp trên :

- *Có một vị trí cân bằng.*
- Nếu đưa vật nặng ra khỏi vị trí cân bằng rồi thả cho vật tự do thì vật sẽ *chuyển động qua lại quanh vị trí cân bằng.*

Chuyển động qua lại quanh một vị trí cân bằng gọi là dao động. Dao động có thể là tuần hoàn, có thể không tuần hoàn.

Dao động tuần hoàn : Xét Hình 6.1a, nếu thả vật từ B thì vật đi sang trái qua M, tới A thì dừng lại,

rồi đi ngược lại về phía phải qua M và trở lại B. Sau đó, *chuyển động được lặp lại như thế liên tiếp và mãi mãi. Chuyển động như vậy gọi là dao động tuần hoàn.*



Hình 6.2

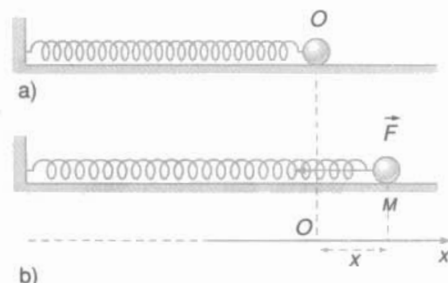
Giai đoạn chuyển động $BMAMB$ nói trên được lặp lại đúng như trước. Đó là giai đoạn nhỏ nhất được lặp lại trong *dao động tuần hoàn. Ta gọi giai đoạn đó là một dao động toàn phần hay một chu trình.*

Thời gian thực hiện một dao động toàn phần gọi là *chu kì* (kí hiệu là T) của dao động tuần hoàn. Đơn vị của chu kì là giây (s)

Trong 1 giây, chuyển động thực hiện được $f = \dfrac{1}{T}$ dao động toàn phần, f gọi là *tần số* của dao động tuần hoàn. Đơn vị của tần số là $\dfrac{1}{s}$, gọi là héc (kí hiệu Hz).

2. Thiết lập phương trình động lực học của vật dao động trong con lắc lò xo

Xét chuyển động của vật nặng trong con lắc lò xo nằm ngang (Hình 6.3). Con lắc lò xo gồm một vật nặng gắn vào đầu một lò xo có khối lượng không đáng kể, đầu kia của lò xo cố định.



Hình 6.3 Con lắc lò xo.

a) Vật nặng ở vị trí cân bằng O, lò xo không dãn.

b) Vật nặng ở vị trí M, li độ x, vật chịu tác dụng của lực đàn hồi F = – kx của lò xo.

Trục x như hình vẽ, gốc O ứng với vị trí cân bằng. Toạ độ x của vật tính từ vị trí cân bằng gọi là *li độ*.

Lực F tác dụng lên vật nặng là lực đàn hồi của lò xo, lực này luôn hướng về O (trái dấu với li độ) và có độ lớn tỉ lệ với li độ, nên :

$$F = -kx$$

hệ số tỉ lệ k là *độ cứng* của lò xo.

Lực F luôn luôn hướng về vị trí cân bằng nên được gọi là *lực kéo về hay lực hồi phục*.

Ghi chú : Xét một vật có một vị trí cân bằng xác định và một khi dời khỏi vị trí này một đoạn thẳng có độ dài x thì vật chịu tác dụng của một lực hướng về vị trí cân bằng và có độ lớn tỉ lệ với x (cũng gọi là *lực kéo về*). Ta thiết lập được phương trình (6.1) cho chuyển động của vật theo cách hoàn toàn tương tự như đối với vật nặng của con lắc lò xo. Như vậy, vật mà ta xét sẽ dao động điều hoà (xem bài tập 1, Bài 9).

Gia tốc của vật nặng (khối lượng m) bằng đạo hàm hạng hai của li độ theo thời gian x''.

Bỏ qua ma sát và áp dụng định luật II Niu-tơn, ta có :

$$mx'' = -kx$$

hay là

$$x'' + \frac{k}{m}x = 0 \qquad (6.1)$$

Đặt :

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \qquad (6.2)$$

phương trình (6.1) trở thành :

$$x'' + \omega^2 x = 0 \qquad (6.3)$$

Phương trình (6.1) hoặc (6.3) gọi là *phương trình động lực học* của dao động.

3. Nghiệm của phương trình động lực học : phương trình dao động điều hoà

Vế phải của phương trình (6.4) là $A\cos(\omega t + \varphi)$ còn gọi là biểu thức của dao động.

Toán học cho biết nghiệm của phương trình (6.3) có dạng :

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) \qquad (6.4)$$

trong đó A và φ là hai hằng số bất kì.

C1 Thay biểu thức (6.6) của x'' vào phương trình (6.3) thì vế đầu của phương trình này sẽ là thế nào ?

Có thể thử lại điều đó bằng cách tính đạo hàm của x :

$$x' = -\omega A\sin(\omega t + \varphi) \qquad (6.5)$$

$$x'' = -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x \qquad (6.6)$$

Thay biểu thức (6.6) của x'' vào phương trình (6.3), ta thấy rằng phương trình này được nghiệm đúng.

Bằng phép biến đổi lượng giác, bất kì hàm côsin nào cũng có thể đổi thành hàm sin và ngược lại, ví dụ :

$$A\cos(\omega t + \varphi) = A\sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

Vì thế cả hàm côsin và hàm sin đều gọi chung là *hàm dạng sin*.

Phương trình (6.4) cho sự phụ thuộc của li độ x vào thời gian, gọi là *phương trình dao động*.

Dao động mà phương trình có dạng (6.4), tức là vế phải là hàm côsin hay sin của thời gian nhân với một hằng số, gọi là dao động điều hoà.

4. Các đại lượng đặc trưng của dao động điều hoà

Với giá trị của A dương trong (6.4) :

- A gọi là *biên độ*, đó là giá trị cực đại của li độ x ứng với lúc $\cos(\omega t + \varphi) = 1$. Biên độ luôn luôn dương.

- $(\omega t + \varphi)$ gọi là *pha* của dao động tại thời điểm t, pha chính là đối số của hàm côsin và là một góc. Với một biên độ đã cho thì pha xác định li độ x của dao động.

- φ là *pha ban đầu*, tức là pha $\omega t + \varphi$ vào thời điểm $t = 0$.

- ω gọi là *tần số góc* của dao động. ω là tốc độ biến đổi của góc pha, có đơn vị là rad/s hoặc độ/s. Với một con lắc lò xo đã cho thì tần số góc ω chỉ có một giá trị xác định cho bởi (6.2).

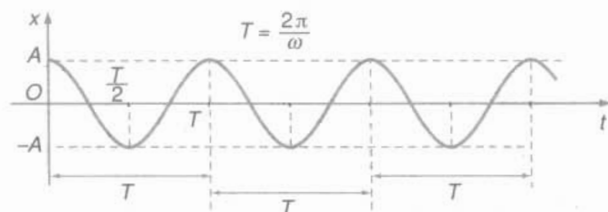
Nếu trong (6.4), giá trị của A âm thì ta viết lại như sau :

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) = -|A|\cos(\omega t + \varphi)$$
$$= |A|\cos(\omega t + \varphi + \pi)$$

Biên độ dao động điều hoà là $|A|$ (luôn luôn dương) và pha ban đầu là $\varphi + \pi$.

5. Đồ thị (li độ) của dao động điều hoà

Xuất phát từ phương trình dao động (6.4), cho $\varphi = 0$ để đơn giản. Lập bảng biến thiên của li độ x theo thời gian t (xem Bảng 6.1) và vẽ đường biểu diễn x theo t (Hình 6.4). Từ đồ thị ta thấy rằng, dao động điều hoà là chuyển động tuần hoàn.



Hình 6.4 Đường biểu diễn $x = A\cos(\omega t + \varphi)$ với $\varphi = 0$.
Trục hoành biểu diễn thời gian t, trục tung biểu diễn li độ x. A là giá trị cực đại của li độ x.

Bảng 6.1

Biến thiên của x theo t

t	ωt	x
0	0	A
$\frac{\pi}{2\omega}$	$\frac{\pi}{2}$	0
$\frac{\pi}{\omega}$	π	$-A$
$\frac{3\pi}{2\omega}$	$\frac{3\pi}{2}$	0
$\frac{2\pi}{\omega}$	2π	A

Chứng minh tính chất tuần hoàn :

Vào thời điểm t bất kì, vật có li độ cho bởi (6.4).

Vào thời điểm $t + T$ vật có li độ :

$$x(t+T) = x\left(t + \frac{2\pi}{\omega}\right)$$

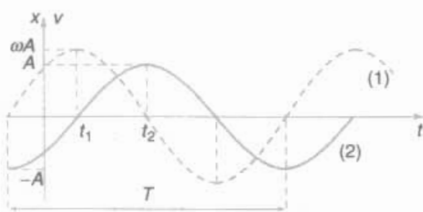
$$= A\cos\left[\omega\left(t + \frac{2\pi}{\omega}\right) + \varphi\right]$$

$$= A\cos(\omega t + 2\pi + \varphi)$$

$$= A\cos(\omega t + \varphi) = x(t)$$

đúng bằng li độ vào thời điểm t. Điều này chứng tỏ rằng $T = \frac{2\pi}{\omega}$ cũng là chu kì của dao động điều hoà.

Ba đại lượng : chu kì T, tần số f, và tần số góc ω liên quan với nhau theo (6.7) và (6.8) cùng đặc trưng cho một tính chất biến đổi nhanh hay chậm của pha. Chỉ dùng một trong ba đại lượng đó là đủ.



Hình 6.5 Đồ thị vận tốc và đồ thị li độ (pha ban đầu $\varphi \neq 0$).

Trục hoành biểu diễn thời gian t. Nếu trục tung biểu diễn li độ x thì đường liền nét (2) biểu diễn x theo t (đồ thị li độ). Nếu trục tung biểu diễn vận tốc v thì đường đứt nét (1) biểu diễn v theo t (đồ thị vận tốc).

Khi $t = t_1$ thì $x = 0, v = v_{max} = \omega A$.

Khi $t = t_1 + \frac{T}{4} = t_2$

thì $x = x_{max} = A, v = 0$.

6. Chu kì và tần số của dao động điều hoà

Từ đồ thị li độ của dao động điều hoà (Hình 6.4) ta thấy rằng, nếu tịnh tiến đoạn đồ thị $(0, \frac{2\pi}{\omega})$ một đoạn $\frac{2\pi}{\omega}$ theo trục t, ta sẽ được đoạn đồ thị tiếp theo. Như vậy, giai đoạn chuyển động từ thời điểm $t = 0$ đến thời điểm $t = \frac{2\pi}{\omega}$ là giai đoạn ngắn nhất được lặp lại liên tục và mãi mãi, đó là một dao động toàn phần hay một chu trình. Thời gian $\frac{2\pi}{\omega}$ thực hiện dao động toàn phần là chu kì T của dao động điều hoà.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (6.7)$$

Tần số f của dao động điều hoà, theo định nghĩa, là :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (6.8)$$

7. Vận tốc trong dao động điều hoà

Vận tốc bằng đạo hàm của li độ theo thời gian :

$$v = x' = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$$

$$= \omega A\cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (6.9)$$

như vậy là vận tốc cũng biến đổi điều hoà và có cùng chu kì với li độ. Đồ thị vận tốc (đường đứt nét) đối chiếu với đồ thị li độ (đường liền nét) được vẽ trên Hình 6.5.

Chú ý rằng :

Ở vị trí giới hạn $x = \pm A$ thì vận tốc có giá trị bằng 0.

Ở vị trí cân bằng $x = 0$ thì vận tốc v có độ lớn cực đại bằng ωA.

8. Gia tốc trong dao động điều hoà

Gia tốc a bằng đạo hàm của vận tốc theo thời gian :

$$a = v' = x''$$
$$= -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x \qquad (6.10)$$

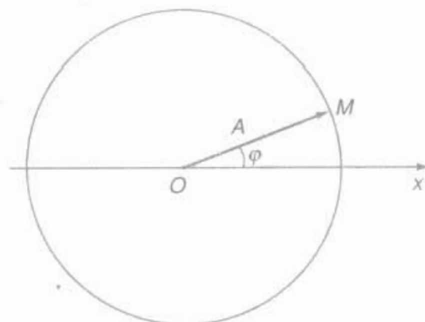
Gia tốc luôn luôn trái dấu với li độ và có độ lớn tỉ lệ với độ lớn của li độ. Người ta nói rằng, gia tốc ngược pha với li độ.

Ghi chú :

Từ (6.4) và (6.9), ta thấy rằng li độ x và vận tốc v đều là hàm côsin với cùng tần số góc ω, pha ban đầu của v là $\varphi + \frac{\pi}{2}$, lớn hơn pha ban đầu của x. Người ta nói rằng vận tốc v sớm pha $\frac{\pi}{2}$ so với li độ x, hoặc li độ x trễ pha $\frac{\pi}{2}$ so với vận tốc v.

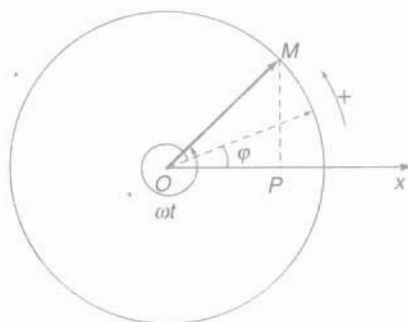
9. Biểu diễn dao động điều hoà bằng vectơ quay

Để biểu diễn dao động điều hoà (6.4) người ta dùng *một vectơ $\overrightarrow{OM}$ có độ dài là A (biên độ), quay đều quanh điểm O trong mặt phẳng chứa trục Ox với tốc độ góc là ω. Ở thời điểm ban đầu t = 0, góc giữa trục Ox và $\overrightarrow{OM}$ là φ (pha ban đầu)* (Hình 6.6).



Hình 6.6 Vectơ quay vào thời điểm $t = 0$.

Ở thời điểm t, góc giữa trục Ox và $\overrightarrow{OM}$ sẽ là $\omega t + \varphi$ (Hình 6.7), góc đó chính là pha của dao động.



Hình 6.7 Vectơ quay vào một thời điểm t bất kì.

Độ dài đại số của hình chiếu vectơ quay $\overrightarrow{OM}$ trên trục x sẽ là :

$$ch_x\overrightarrow{OM} = \overline{OP} = A\cos(\omega t + \varphi) \qquad (6.11)$$

đó chính là biểu thức trong vế phải của (6.4) và là li độ x của dao động.

Như vậy : Độ dài đại số của hình chiếu trên trục x của vectơ quay $\overrightarrow{OM}$ biểu diễn dao động điều hoà chính là li độ x của dao động.

Đẳng thức (6.11) cũng thể hiện mối quan hệ giữa dao động điều hoà và chuyển động tròn đều : Điểm P dao động điều hoà trên trục Ox với biên độ A và tần số góc ω có thể coi như hình chiếu lên Ox của một điểm M chuyển động tròn đều với tốc độ góc ω trên quỹ đạo tròn tâm O, bán kính A. Trục Ox trùng với một đường kính của quỹ đạo đó.

10. Điều kiện ban đầu : sự kích thích dao động

Xét một vật dao động, ví dụ vật nặng trong con lắc lò xo. Trong bài trước, ta đã tìm được phương trình dao động của vật, trong đó có hai

Ví dụ : Vẽ vectơ quay biểu diễn dao động

$$x = 5\cos\left(0,5t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ (cm)}$$

vào thời điểm $t = 0$.

Bài giải : Đó là vectơ $\overrightarrow{OM}$ có độ dài OM bằng 5 cm, (theo tỉ xích quy ước) và hợp với trục x góc $\frac{\pi}{3}$ như ở Hình 6.8.



Hình 6.8 Vectơ quay biểu diễn dao động x.

Vectơ $\overrightarrow{OM}$ quay đều quanh O với tốc độ góc $\omega = 0,5$ rad/s.

hằng số A và φ. Trong một chuyển động cụ thể thì A và φ có giá trị xác định, tuỳ theo cách kích thích dao động.

Giả thiết rằng vật nặng đứng yên ở vị trí cân bằng, nó sẽ đứng yên mãi. Ta có thể kích thích dao động của vật bằng cách đưa nó ra khỏi vị trí cân bằng một đoạn x_0 rồi thả tự do (vận tốc ban đầu bằng 0). Dưới tác dụng của lực đàn hồi của lò xo, vật sẽ dao động. *Nếu chọn gốc thời gian $t = 0$ là lúc thả vật tự do ở li độ x_0, ta sẽ có điều kiện ban đầu sau đây :*

$$x(0) = x_0 \text{ và } v(0) = 0 \qquad (6.12)$$

Cho $t = 0$ trong công thức (6.4) của li độ x và trong công thức (6.9) của vận tốc, thì :

$$x(0) = A\cos\varphi = x_0$$

$$v(0) = -\omega A\sin\varphi = 0$$

Từ phương trình sau, ta suy ra $\sin\varphi = 0$, $\varphi = 0$. Thay vào phương trình trước, ta có $A = x_0$.

Vậy, phương trình của dao động điều hoà được kích thích như trên sẽ là :

$$x = x_0\cos\omega t \qquad (6.13)$$

CÂU HỎI

1. Vẽ đồ thị li độ của dao động điều hoà sau đây (cùng dạng với đường liền nét (2) trong Hình 6.5) :

$$x = 2\cos(\pi t - \frac{\pi}{4}) \text{ (cm)}$$

Ghi rõ toạ độ điểm giao của đường biểu diễn với trục tung (x) và trục hoành (t).

2. Xét ba đại lượng đặc trưng A, φ, ω cho dao động điều hoà của một con lắc lò xo đã cho. Những đại lượng nào có thể có những giá trị khác nhau, tuỳ thuộc cách kích thích dao động ? Đại lượng nào chỉ có một giá trị xác định đối với con lắc lò xo đã cho ?

3. Nói rõ về thứ nguyên của các đại lượng A, φ, ω.

BÀI TẬP

1. Tốc độ của chất điểm dao động điều hoà cực đại khi

A. li độ cực đại. B. gia tốc cực đại. C. li độ bằng 0. D. pha bằng $\frac{\pi}{4}$.

2. Gia tốc của chất điểm dao động điều hoà bằng 0 khi

A. li độ cực đại. B. li độ cực tiểu. C. vận tốc cực đại hoặc cực tiểu. D. vận tốc bằng 0.

3. Dao động cơ điều hoà đổi chiều khi

A. lực tác dụng đổi chiều.

B. lực tác dụng bằng 0.

C. lực tác dụng có độ lớn cực đại.

D. lực tác dụng ngược chiều với vận tốc.

4. a) Thử lại rằng :

$$x = A_1 \cos\omega t + A_2 \sin\omega t \qquad (6.14)$$

trong đó A_1 và A_2 là hai hằng số bất kì, cũng là nghiệm của phương trình (6.3).

b) Chứng tỏ rằng, nếu chọn A_1 và A_2 trong biểu thức ở vế phải của (6.14) như sau :

$$A_1 = A\cos\varphi \; ; \qquad A_2 = -A\sin\varphi$$

thì biểu thức ấy trùng với biểu thức ở vế phải của (6.4).

5. Phương trình dao động của một vật là : $x = 6\cos\left(4\pi t + \frac{\pi}{6}\right)$ (cm).

a) Xác định biên độ, tần số góc, chu kì và tần số của dao động.

b) Xác định pha của dao động tại thời điểm $t = \frac{1}{4}$ s, từ đó suy ra li độ tại thời điểm ấy.

c) Vẽ vectơ quay biểu diễn dao động vào thời điểm $t = 0$.

6. Một vật dao động điều hoà với biên độ $A = 4$ cm và chu kì $T = 2$ s.

a) Viết phương trình dao động của vật, chọn gốc thời gian là lúc nó đi qua vị trí cân bằng theo chiều dương.

b) Tính li độ của vật tại thời điểm $t = 5{,}5$ s.

7. Một vật nặng treo vào một lò xo làm cho lò xo dãn ra 0,8 cm. Cho vật dao động. Tìm chu kì dao động ấy. Lấy $g = 10$ m/s^2.

Em có biết ?

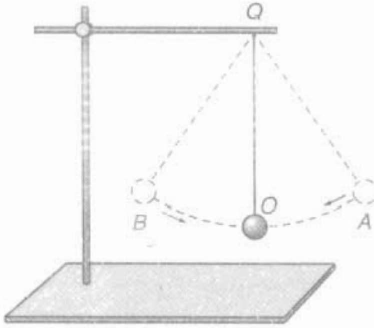
CÂN Ở NƠI KHÔNG CÓ TRỌNG LƯỢNG

Để biết diễn biến sức khoẻ của nhà du hành vũ trụ, người ta theo dõi xem nhà du hành tăng cân hay giảm cân. Khi tập luyện trên mặt đất, bác sĩ dùng một cái cân thông thường để đo trọng lượng nhà du hành, rồi từ đó suy ra khối lượng. Khi bay trên con tàu vũ trụ, nhà du hành ở trạng thái không trọng lượng, không có cân nào hoạt động được nữa.

Vậy làm thế nào để đo khối lượng nhà du hành ?

Lúc này phải dựa vào quán tính để đo khối lượng. Nhà du hành ngồi và buộc mình vào một cái ghế, ghế gắn vào đầu một lò xo, đầu kia của lò xo gắn chặt vào một điểm. Cho ghế dao động ở đầu lò xo. Một đồng hồ điện tử đo chu kì của dao động. Từ chu kì dao động có thể tính được khối lượng của nhà du hành (xem bài tập 4, Bài 9).

7 CON LẮC ĐƠN CON LẮC VẬT LÍ

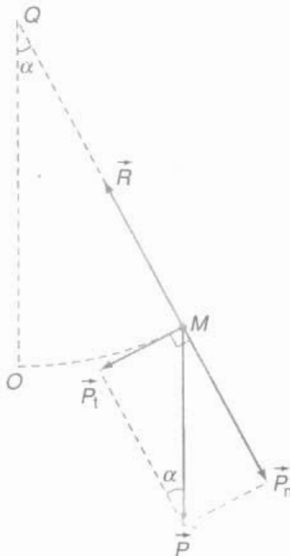


a) Con lắc đơn



b) Sơ đồ con lắc đơn

Hình 7.1 Con lắc đơn và sơ đồ.



Hình 7.2 Lực tác dụng lên vật M.

1. Con lắc đơn

Con lắc đơn gồm một vật nặng có kích thước nhỏ, có khối lượng m, treo ở đầu một sợi dây mềm không dãn có độ dài l và có khối lượng không đáng kể.

Vị trí cân bằng của con lắc đơn là vị trí mà dây treo thẳng đứng QO, vật nặng ở vị trí O thấp nhất.

Nếu đưa vật nặng ra khỏi vị trí cân bằng, ví dụ tới vị trí A trên quỹ đạo tròn tâm Q bán kính l với $\overset{\frown}{OA} = s_0$, rồi thả tự do thì vật nặng dao động trên cung tròn $\overset{\frown}{AOB}$, qua lại quanh vị trí cân bằng O (Hình 7.1a).

2. Phương trình động lực học

Vật nặng ở vị trí M xác định bởi $\overset{\frown}{OM} = s$ (Hình 7.1b), s gọi là *li độ cong*.

Dây treo ở QM xác định bởi góc $\widehat{OQM} = \alpha$ gọi là *li độ góc*.

Chiều dương để tính s và α là chiều từ O đến A. Hệ thức giữa s và α là : $s = l\alpha$.

Các lực tác dụng lên vật là :

– Trọng lực $\vec{P}$ có độ lớn mg và hướng thẳng đứng xuống dưới.

– Phản lực $\vec{R}$ của dây hướng theo MQ.

Ta phân tích trọng lực $\vec{P}$ thành hai phần : thành phần $\vec{P}_n$ theo phương của dây treo QM và vuông góc với quỹ đạo tròn, thành phần $\vec{P}_t$ theo phương tiếp tuyến với quỹ đạo.

$$\vec{P} = \vec{P}_n + \vec{P}_t \qquad (7.1)$$

Thành phần $\vec{P}_n$ của trọng lực và phản lực $\vec{R}$ của dây treo cùng tác dụng lên vật, nhưng vì chúng vuông góc với quỹ đạo nên không làm thay đổi tốc độ của vật. Hợp lực của chúng là lực hướng tâm giữ cho vật chuyển động trên quỹ đạo tròn.

Thành phần $\vec{P}_t$ của trọng lực luôn có khuynh hướng kéo vật về vị trí cân bằng O, giống như lực kéo về trong con lắc lò xo.

Với những dao động nhỏ, tức là li độ góc $\alpha \ll 1$ rad, còn li độ cong $s \ll l$, thì có thể coi gần đúng cung $\overset{\frown}{OM}$ là đoạn thẳng.

Hình 7.2 cho thấy lực $\vec{P}_t$ có độ lớn $mg\sin\alpha$ và luôn hướng về O, nên :

$$P_t = -mg\sin\alpha$$

Ngoài ra, $\alpha \ll 1$ rad nên có thể coi gần đúng $\sin\alpha \approx \alpha$.

Áp dụng định luật II Niu-tơn, ta có :

$$ms'' = -mg\sin\alpha \approx -mg\alpha = -mg\frac{s}{l} \quad (7.2)$$

Từ đây, suy ra : $$s'' + \frac{g}{l}s = 0 \quad (7.3a)$$

Đó là phương trình động lực học của dao động của con lắc đơn với li độ cong s nhỏ (so với l).

Đặt : $$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (7.4)$$

ta lại có phương trình giống như phương trình (6.3) trong bài trước đối với dao động của con lắc lò xo :

$$s'' + \omega^2 s = 0 \quad (7.5a)$$

Nếu chọn li độ góc α để xác định vị trí của vật nặng thì ta thay s bằng $l\alpha$ trong (7.3a) và sẽ được :

$$\alpha'' + \frac{g}{l}\alpha = 0 \quad (7.3b)$$

và tiếp theo :

$$\alpha'' + \omega^2\alpha = 0 \quad (7.5b)$$

3. Nghiệm của phương trình (7.5a)

Phương trình dao động của con lắc là :

$$s = A\cos(\omega t + \varphi) \quad (7.6)$$

Với cách kích thích như ở mục 1 (tức là đưa vật nặng về

phía phải, ở li độ cong s_0 rồi thả tự do) và gốc thời gian chọn vào lúc thả vật nặng, ta có điều kiện ban đầu :

$$\text{Khi } t = 0 \text{ thì } s = s_0 \text{ và } v = s' = 0 \qquad (7.7)$$

Vận dụng điều kiện ban đầu cho nghiệm (7.6), ta có :

$$A\cos\varphi = s_0 \text{ và } -\omega A\sin\varphi = 0$$

từ đó, suy ra : $\varphi = 0$ và $A = s_0$.

Vậy, nếu kích thích như ở mục 1 thì :

$$s = s_0 \cos\omega t \qquad (7.8)$$

Có thể chọn góc lệch α của dây treo làm thông số xác định vị trí (toạ độ góc), khi đó

$$\alpha = \alpha_0 \cos\omega t \qquad (7.9)$$

Cả hai phương trình (7.8) và (7.9) đều mô tả cùng một chuyển động dao động của con lắc đơn. Đó là một dao động điều hoà.

Dao động của con lắc đơn với góc lệch nhỏ là dao động điều hoà quanh vị trí cân bằng với tần số góc ω cho bởi (7.4). Tần số góc ω không phụ thuộc khối lượng m của vật nặng.

Chu kì T của dao động nhỏ là :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (7.10)$$

4. Con lắc vật lí

Con lắc vật lí là một vật rắn quay được quanh một trục nằm ngang cố định không đi qua trọng tâm của vật.

Trong Hình 7.3, trục đi qua Q và vuông góc với mặt phẳng của hình vẽ. G là trọng tâm của vật, α là góc lệch của QG so với đường thẳng đứng. Chiều dương là chiều mũi tên.

Phương trình dao động của con lắc vật lí là :

$$\alpha = \alpha_0 \cos(\omega t + \varphi) \qquad (7.11)$$

trong đó tần số góc ω cho bởi :

$$\omega = \sqrt{\frac{mgd}{I}} \qquad (7.12)$$

với m là khối lượng của vật rắn, d là khoảng cách QG, I là momen quán tính của vật rắn đối với trục quay.

Chu kì T của con lắc vật lí cho bởi :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}} \qquad (7.13)$$

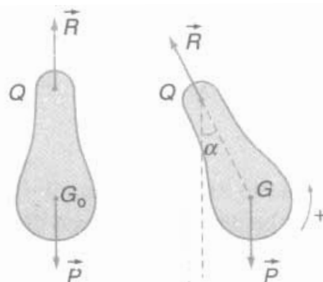
Ứng dụng con lắc vật lí : Dùng con lắc vật lí đo gia tốc trọng trường g. Đặt con lắc tại một vị trí, đo chu kì T của con lắc dao động. Dùng công thức (7.13) suy ra gia tốc g của trọng trường tại vị trí đặt con lắc. Biết giá trị của g tại các vị trí khác nhau trong một vùng, có thể suy ra phân bố khối lượng khoáng vật ở dưới mặt đất trong vùng đó (giúp cho việc tìm mỏ dầu, nguồn nước dưới đất,...).

5. Hệ dao động

Nếu xét vật dao động cùng với vật tác dụng lực kéo về lên vật dao động thì ta có một hệ gọi là *hệ dao động*. Ví dụ : vật nặng gắn vào lò xo có một đầu cố định (con lắc lò xo) là một hệ dao động, con lắc đơn (hoặc con lắc vật lí) cùng với Trái Đất là một hệ dao động.

Như vậy, lực đàn hồi tác dụng lên vật nặng trong con lắc lò xo là nội lực của hệ, trọng lực tác dụng lên vật nặng trong con lắc đơn cũng là nội lực của hệ. Dao động của hệ xảy ra dưới tác dụng chỉ của nội lực thì gọi là *dao động tự do* hoặc *dao động riêng*. Từ đầu chương II tới đây ta mới chỉ xét dao động tự do.

Mọi dao động tự do của một hệ dao động đều có cùng một tần số góc xác định, gọi là *tần số góc riêng* của vật hay hệ ấy. Ví dụ,



Hình 7.3 Con lắc vật lí.
G là trọng tâm của con lắc, $d = QG$.

Dưới tác dụng của trọng lực $\vec{P}$, con lắc vật lí dao động. Chọn góc lệch α của QG so với đường thẳng đứng làm toạ độ góc.

Lực tác dụng lên vật rắn là trọng lực $\vec{P}$ và phản lực $\vec{R}$ đặt tại Q do trục quay tác dụng lên vật rắn.

Momen của lực đối với trục quay đi qua Q :

$$M(\vec{P}) = -Pd\sin\alpha = -mgd\sin\alpha$$

$$M(\vec{R}) = 0$$

Phương trình động lực học :

$$\text{Tổng momen của lực} = \text{Momen quán tính} \times \text{Gia tốc góc}$$

Kí hiệu I là momen quán tính của vật rắn đối với trục đi qua Q, phương trình động lực học trở thành :

$$-mgd\sin\alpha = I\alpha''$$

với dao động nhỏ thì $\sin\alpha \approx \alpha$, ta có :

$$\alpha'' + \frac{mgd}{I}\alpha = 0$$

Đặt $\omega = \sqrt{\frac{mgd}{I}}$, ta có phương trình tương tự như (7.5b) :

$$\alpha'' + \omega^2\alpha = 0$$

với nghiệm là :

$$\alpha = \alpha_0\cos(\omega t + \varphi)$$

Từ đây, có thể thấy rằng con lắc vật lí dao động nhỏ với tần số góc cho bởi (7.12).

C1 Có thể coi con lắc đơn là trường hợp riêng của con lắc vật lí với $d = l$, $I = ml^2$. Từ công thức (7.12), hãy tìm lại công thức (7.4).

Ghi chú :

Con lắc lò xo, kể cả đầu cố định của lò xo, là một hệ dao động. Đầu cố định gắn với Trái Đất, cho nên thực ra có thể coi hệ dao động bao gồm cả Trái Đất. Lực hút của Trái Đất lên vật nặng luôn luôn bị cân bằng bởi phản lực của giá đỡ vật (trong con lắc nằm ngang) hoặc bởi lực đàn hồi do độ dãn ban đầu của lò xo (trong con lắc thẳng đứng). Vì vậy, không cần nói đến Trái Đất trong hệ. tần số góc riêng của con lắc lò xo là $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, của con lắc đơn và Trái Đất là $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$.

CÂU HỎI

1. Dao động của vật nặng trong con lắc lò xo là dao động tịnh tiến : vật nặng chuyển động tịnh tiến theo phương trình dạng sin, vào một thời điểm đã cho mọi điểm của vật nặng có cùng vận tốc và cùng gia tốc. Dao động của con lắc vật lí có phải là dao động tịnh tiến không ? Nếu không thì dao động này khác dao động tịnh tiến thế nào ?

2. Đối chiếu dao động của con lắc đơn với dao động của con lắc lò xo. Trả lời các câu hỏi sau đây đối với từng con lắc :

   a) Lực kéo về có phụ thuộc khối lượng vật nặng không ?

   b) Gia tốc của vật nặng có phụ thuộc khối lượng của nó không ?

   c) Tần số góc có phụ thuộc khối lượng vật nặng không ?

BÀI TẬP

1. Chu kì dao động nhỏ của con lắc đơn phụ thuộc

   A. khối lượng của con lắc.
   B. trọng lượng của con lắc.
   C. tỉ số của trọng lượng và khối lượng của con lắc.
   D. khối lượng riêng của con lắc.

2. Chu kì của con lắc vật lí được xác định bằng công thức

   A. $T = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{mgd}{I}}$.
   B. $T = 2\pi\sqrt{\frac{mgd}{I}}$.
   C. $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}}$.
   D. $T = \sqrt{\frac{2\pi I}{mgd}}$.

3. Tìm độ dài của con lắc đơn có chu kì 1 s ở nơi có gia tốc trọng trường $g = 9{,}81$ m/s^2.

4. Ở nơi mà con lắc đơn đếm giây (tức là có chu kì 2 s) có độ dài 1 m thì con lắc đơn có độ dài 3 m dao động với chu kì bằng bao nhiêu ?

5. Một vật rắn có khối lượng $m = 1{,}5$ kg có thể quay quanh một trục nằm ngang. Dưới tác dụng của trọng lực, vật dao động nhỏ với chu kì $T = 0{,}5$ s. Khoảng cách từ trục quay đến trọng tâm của vật là $d = 10$ cm. Tính momen quán tính của vật đối với trục quay (lấy $g = 10$ m/s^2).



NĂNG LƯỢNG TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

Khi một vật dao động, vị trí và vận tốc của nó luôn luôn thay đổi theo thời gian, vì thế mà thế năng và động năng của vật cũng luôn luôn biến đổi. Trong bài này, ta sẽ xét xem biến đổi đó diễn biến như thế nào

1. Sự bảo toàn cơ năng

Trong các con lắc mà ta đã xét ở chương này thì vật nặng chịu tác dụng của lực đàn hồi ($F = -kx$) hoặc trọng lực ($P = mg$). Các lực này là lực thế. Ở SGK Vật lí 10 nâng cao, ta đã biết rằng cơ năng (động năng + thế năng) của một vật chuyển động trong trường lực thế được bảo toàn.

Như vậy : ***Cơ năng của vật dao động được bảo toàn.***

Ta sẽ xem xét chi tiết sự biến đổi từng thành phần của cơ năng, tức là động năng và thế năng, của vật nặng trong con lắc lò xo và thử lại rằng cơ năng được bảo toàn.

2. Biểu thức của thế năng

Trước hết, cần nói rõ rằng thế năng W_t của vật nặng dưới tác dụng của lực đàn hồi cũng chính là thế năng đàn hồi của lò xo.

Xét vật nặng trong con lắc lò xo, vật dao động với tần số góc ω và biên độ A, li độ của vật là :

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) \qquad (8.1)$$

Lực đàn hồi của lò xo tác dụng lên vật là $F = -kx$. Dưới tác dụng của lực này, thế năng của vật là :

$$W_t = \frac{1}{2}kx^2$$

Thay x từ (8.1), ta có :

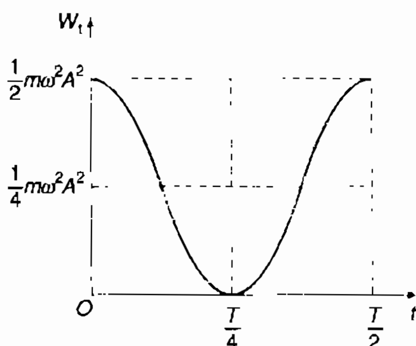
Biến đổi của thế năng theo thời gian

Dựa vào công thức (8.2) và dùng biến đổi lượng giác $\cos^2 a = \frac{1 + \cos 2a}{2}$, ta có :

$$W_t = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \frac{1 + \cos 2(\omega t + \varphi)}{2}$$

$$= \frac{1}{4}m\omega^2 A^2 + \frac{1}{4}m\omega^2 A^2 \cos 2(\omega t + \varphi)$$

Chọn gốc thời gian sao cho $\varphi = 0$, ta có đường biểu diễn của $W_t(t)$ ở Hình 8.1.



Hình 8.1 Đường biểu diễn biến đổi thế năng theo thời gian ($\varphi = 0$).

C1 Từ công thức và đường biểu diễn của W_t, hãy rút ra nhận xét về biến đổi thế năng.

$$W_t = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t + \varphi)$$

mà $\omega^2 = \frac{k}{m}$ tức là $k = m\omega^2$, do đó :

$$W_t = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\cos^2(\omega t + \varphi) \quad (8.2)$$

Đây là biểu thức của thế năng phụ thuộc vào thời gian. Từ đây có thể khảo sát sự biến đổi của thế năng theo thời gian (xem Hình 8.1).

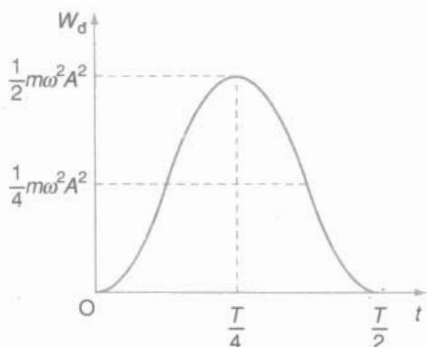
Biến đổi của động năng theo thời gian

Dùng công thức $\sin^2 a = \frac{1 - \cos 2a}{2}$, ta có thể biến đổi (8.3) như sau :

$$W_đ = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\frac{1 - \cos 2(\omega t + \varphi)}{2}$$

$$= \frac{1}{4}m\omega^2A^2 - \frac{1}{4}m\omega^2A^2\cos 2(\omega t + \varphi)$$

Với $\varphi = 0$, ta có đồ thị ở Hình 8.2.



Hình 8.2 Đường biểu diễn biến đổi động năng theo thời gian.

C2 Từ công thức và đường biểu diễn của $W_đ$, hãy rút ra nhận xét về sự biến đổi của động năng.

3. Biểu thức của động năng

Theo định nghĩa, động năng của vật nặng là :

$$W_đ = \frac{1}{2}mv^2$$

Vận tốc v có thể tính được theo công thức (8.1) của li độ x :

$$v = x' = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$$

Thay vào biểu thức trên của động năng, ta có :

$$W_đ = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\sin^2(\omega t + \varphi) \quad (8.3)$$

Đây là biểu thức của động năng phụ thuộc vào thời gian. Từ đây có thể khảo sát sự biến đổi của động năng theo thời gian (xem cột bên trái).

Vì khối lượng của lò xo rất nhỏ so với khối lượng của vật nên có thể bỏ qua động năng của lò xo. Như thế, động năng của vật cũng là động năng của cả con lắc lò xo.

4. Biểu thức của cơ năng

Cơ năng W của vật nặng bằng tổng động năng và thế năng của vật, đó cũng là cơ năng của con lắc lò xo :

$$W = W_đ + W_t$$

$$= \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \left[\cos^2(\omega t + \varphi) + \sin^2(\omega t + \varphi)\right]$$

suy ra :

$$W = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \quad (8.4)$$

Từ (8.4) ta thấy rằng, cơ năng W không phụ thuộc thời gian. Vậy, *cơ năng của vật nặng dao động, tức cũng là cơ năng của con lắc lò xo, được bảo toàn.*

Chú ý rằng $k = m\omega^2$, ta có :

$$W = \frac{1}{2} kA^2 \quad (8.5)$$

Cơ năng tỉ lệ với bình phương biên độ A của dao động.

Ghi chú :

Sự bảo toàn cơ năng đã được thử lại cho trường hợp con lắc lò xo. Có thể thử lại cho dao động của các con lắc khác (xem bài tập 3).

CÂU HỎI

1. Vẽ ba đường biểu diễn sự phụ thuộc của thế năng, động năng, cơ năng của vật nặng dao động điều hoà theo thời gian trên cùng một đồ thị. Nói rõ trong khoảng thời gian nào thì có sự chuyển hoá thế năng thành động năng và trong khoảng thời gian nào thì có sự chuyển hoá ngược lại.
2. Chứng tỏ rằng, cơ năng của vật nặng dao động điều hoà bằng động năng của nó khi đi qua vị trí cân bằng và bằng thế năng của nó khi li độ là cực đại.

BÀI TẬP

1. Động năng của vật nặng dao động điều hoà biến đổi theo thời gian

   A. theo một hàm dạng sin.
   B. tuần hoàn với chu kì T.
   C. tuần hoàn với chu kì $\frac{T}{2}$
   D. không đổi.

2. Một vật có khối lượng 750 g dao động điều hoà với biên độ 4 cm và chu kì $T = 2$ s. Tính năng lượng của dao động.
3. Tính thế năng, động năng và cơ năng của con lắc đơn ở một vị trí bất kì (li độ góc α) và thử lại rằng cơ năng không đổi trong chuyển động.
4. Dựa vào định luật bảo toàn cơ năng, tính :

   a) Vận tốc của vật nặng trong con lắc lò xo khi đi qua vị trí cân bằng theo biên độ A.

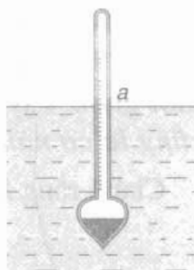
   b) Vận tốc của con lắc đơn khi đi qua vị trí cân bằng theo biên độ góc α_0.

9 BÀI TẬP VỀ DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

Bài tập 1

Chứng tỏ rằng, một phù kế nổi ở trong một chất lỏng có thể dao động điều hoà theo phương thẳng đứng.

Ghi chú : Phù kế là dụng cụ để đo khối lượng riêng của chất lỏng. Đó là một ống thuỷ tinh rỗng, kín, phía dưới là một cái bầu nặng (xem Hình 9.1). Khi thả phù kế vào một chất lỏng, mực chất lỏng ngoài ống thuỷ tinh khi cân bằng cho ta biết khối lượng riêng của chất lỏng.



Hình 9.1

Bài giải

Xét một phù kế ở vị trí cân bằng trong một chất lỏng (Hình 9.1). Gọi m là khối lượng của phù kế, s là tiết diện phần ống của phù kế. Đánh dấu trên ống của phù kế vạch a ngang mức mặt thoáng của chất lỏng. Giả thiết chất lỏng chứa trong một bình có mặt rộng để có thể coi mức của mặt thoáng chất lỏng không đổi (không phụ thuộc vào việc phù kế đi lên hay đi xuống).

Giả thiết phù kế chuyển động theo phương thẳng đứng. Chọn trục toạ độ hướng lên theo phương thẳng đứng, gốc toạ độ là giao điểm của trục với mặt thoáng chất lỏng. Toạ độ z của vạch a chính là li độ (độ dời tính từ vị trí cân bằng) của phù kế.

Có hai lực tác dụng lên phù kế : trọng lực của phù kế $P = mg$ hướng thẳng đứng xuống dưới, lực đẩy Ác-si-mét có độ lớn bằng trọng lượng chất lỏng bị chiếm chỗ và hướng thẳng đứng lên trên. Ở vị trí cân bằng, độ lớn của hai lực này bằng nhau, hợp lực của chúng bằng 0. Ở vị trí có li độ z, độ lớn của lực đẩy Ác-si-mét giảm đi $\rho V g = \rho szg$ còn độ lớn của trọng lực vẫn giữ nguyên, kết quả là hợp lực của hai lực có giá trị :

$$F = -\rho gsz$$

Hợp lực ngược chiều với độ dời và tỉ lệ với độ dời.

Nếu bỏ qua lực cản (ma sát nhớt) của nước đối với phù kế, thì khi áp dụng định luật II Niu-tơn, ta sẽ có :

$$mz'' = -\rho gsz$$

$$z'' + \frac{\rho gs}{m} z = 0$$

Đây là phương trình của dao động điều hoà với tần số góc :

$$\omega = \sqrt{\frac{\rho gs}{m}}$$

Bài tập 2

Điểm M dao động điều hoà theo phương trình :

$$x = 2{,}5\cos\left(10\pi t + \frac{\pi}{2}\right)\ \text{(cm)}$$

a) Vào thời điểm nào thì pha dao động đạt giá trị $\frac{5\pi}{6}$, lúc ấy li độ x bằng bao nhiêu ?

b) Điểm M đi qua vị trí $x = 1{,}25$ cm vào những thời điểm nào ? Phân biệt những lần đi qua theo chiều dương và theo chiều âm.

c) Tìm tốc độ trung bình của điểm M trong một chu kì dao động. Tốc độ trung bình $\overline{v}$ của một chất điểm trong một khoảng thời gian Δt được định nghĩa bằng thương số giữa khoảng đường đi được Δs (trong khoảng thời gian Δt) chia cho Δt.

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Bài giải

a) Pha dao động bằng $\frac{5\pi}{6}$ tức là : $10\pi t + \frac{\pi}{2} = \frac{5\pi}{6}$

Khi đó, thời gian có giá trị :

$$t = \left(\frac{5\pi}{6} - \frac{\pi}{2}\right)\frac{1}{10\pi} = \frac{1}{30}\ \text{s}$$

Vào thời điểm $t = \frac{1}{30}$ s thì pha dao động bằng $\frac{5\pi}{6}$, khi đó thì :

$$x = 2{,}5\cos\frac{5\pi}{6} = -2{,}16\ \text{cm}$$

b) Ở vị trí $x = 1{,}25$ cm, pha dao động $\Phi = 10\pi t + \frac{\pi}{2}$ xác định bởi :

$$\cos\Phi = \frac{x}{2{,}5} = 0{,}5$$

Từ đó, suy ra : $\Phi = \pm\frac{\pi}{3} + 2k\pi$.

Các thời điểm t tương ứng với giá trị trên của pha là :

$$\Phi = 10\pi t + \frac{\pi}{2} = \pm\frac{\pi}{3} + 2k\pi$$

$$t = \frac{1}{10}\left(-\frac{1}{2} \pm \frac{1}{3}\right) + \frac{k}{5}$$

trong đó *k là số nguyên.*

Nếu phân biệt chi tiết : $\Phi = +\frac{\pi}{3}$ là lúc điểm M qua vị trí $x = 1,25$ cm theo chiều âm (t tăng thì Φ tăng và x giảm). $\Phi = -\frac{\pi}{3}$ ứng với lúc M qua vị trí $x = 1,25$ cm theo chiều dương (Φ tăng thì x tăng). Kí hiệu P là điểm có toạ độ $x = 1,25$ cm.

Vậy :

– Thời điểm M qua P theo chiều dương : $t = -\frac{5}{60} + \frac{k}{5}$ (s).

– Thời điểm M qua P theo chiều âm : $t = -\frac{1}{60} + \frac{k}{5}$ (s).

– Trong mỗi giây có mười lần chất điểm M đi qua P, năm lần theo chiều dương, năm lần theo chiều âm.

c) Trong một chu kì $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{10\pi} = 0,2$ s, quãng đường đi được bằng bốn lần biên độ :

$$s = 4.2,5 = 10 \text{ cm}$$

Vậy tốc độ trung bình trong một chu kì dao động là :

$$\bar{v} = \frac{s}{T} = \frac{10}{0.2} = 50 \text{ cm/s} = 0,5 \text{ m/s}$$

Chú ý rằng, vận tốc trung bình của điểm M trong một chu kì dao động thì bằng 0.

Bài tập 3

Một con lắc lò xo gồm một vật nặng có khối lượng $m = 0,4$ kg gắn vào đầu một lò xo có độ cứng $k = 40$ N/m. Vật nặng ở vị trí cân bằng. Dùng búa gõ vào quả nặng, truyền cho nó vận tốc ban đầu bằng 20 cm/s hướng theo trục của lò xo.

a) Viết phương trình dao động của vật nặng.

b) Muốn cho biên độ dao động của vật nặng bằng 4 cm thì vận tốc ban đầu truyền cho vật phải bằng bao nhiêu ?

Bài giải

a) Dạng chung của phương trình dao động là :

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

với $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 10$ rad/s.

Chọn gốc thời gian $t = 0$ vào lúc gõ búa vào vật nặng ở vị trí cân bằng và chiều dương của trục x là chiều vận tốc ban đầu. Ta có điều kiện ban đầu : khi $t = 0$ thì $x = 0$ và $v = x' = 0,2$ m/s.

Từ đó, suy ra :

$$A\cos\varphi = 0, \text{ tức là } \varphi = \pm\frac{\pi}{2}$$

$$-10A\sin\varphi = 0,2, \text{ tức là } \varphi = -\frac{\pi}{2}, \quad A = \frac{0,2}{10} = 0,02 \text{ m}$$

Vậy

$$x = 0,02\cos\left(10t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ (m).}$$

b) Muốn cho biên độ $A = 4$ cm thì phải có :

$$v(0) = \omega A = 10.0,04 = 0,4 \text{ m/s}$$

Bài tập 4



Hình 9.2 Dụng cụ đo khối lượng trên tàu vũ trụ.

Hình 9.2 là ảnh chụp một nhà du hành vũ trụ ngồi trong dụng cụ đo khối lượng (DCĐKL). Dụng cụ này được chế tạo để dùng trong các con tàu vũ trụ trên quỹ đạo mà nhà du hành vũ trụ có thể dùng nó để xác định khối lượng của mình trong điều kiện phi trọng lượng trên quỹ đạo quanh Trái Đất. DCĐKL là một cái ghế lắp vào đầu một lò xo (đầu kia của lò xo gắn vào một điểm trên tàu). Nhà du hành ngồi vào ghế và thắt dây buộc mình vào ghế, cho ghế dao động và đo chu kì dao động T của ghế bằng một đồng hồ hiện số đặt trước mặt mình.

a) Gọi M là khối lượng nhà du hành, m là khối lượng ghế, k là độ cứng của lò xo, hãy chứng tỏ rằng :

$$M = \frac{k}{4\pi^2}T^2 - m$$

b) Đối với DCĐKL trong con tàu vũ trụ Skylab 2 thì $k = 605,5$ N/m, chu kì dao động của ghế không có người là $T_0 = 0,90149$ s. Tính khối lượng m của ghế.

c) Với một nhà du hành ngồi trong ghế thì chu kì dao động là $T = 2,08832$ s. Tính khối lượng nhà du hành.

Bài giải

a) Biết rằng $\omega = \sqrt{\frac{k}{M+m}} = \frac{2\pi}{T}$, suy ra :

$$M + m = \frac{k}{4\pi^2}T^2$$

hay là $M = \frac{k}{4\pi^2}T^2 - m.$

b) Khối lượng m của ghế :

$$m = \frac{k}{4\pi^2}T_0^2 = \frac{605,6}{4(3,1416)^2}(0,90149)^2 = 12,47 \text{ kg}$$

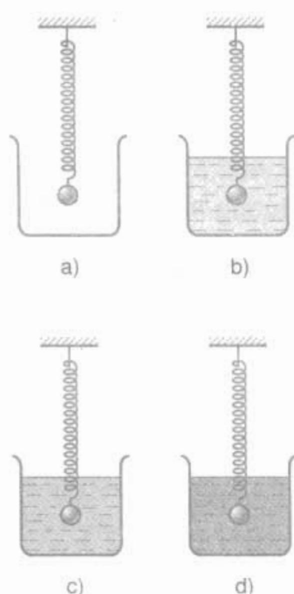
c) Khối lượng M của nhà du hành :

$$M = \frac{605,6}{4(3,1416)^2}(2,08832)^2 - 12,47 = 54,43 \text{ kg}$$

Ghi chú : Phép đo khối lượng này dựa vào quán tính của vật. Kết quả đo có thể gọi là khối lượng quán tính của vật. Những phép đo khối lượng khác thường dùng cân, cân đo lực hấp dẫn của Trái Đất tác dụng lên vật. Kết quả đo bằng cân cho ta khối lượng hấp dẫn của vật. Hiện nay, người ta thừa nhận rằng khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn của mỗi vật thì bằng nhau.

10 DAO ĐỘNG TẮT DẦN VÀ DAO ĐỘNG DUY TRÌ

Trong các bài trước, khi thiết lập phương trình động lực học của dao động ta đã bỏ qua mọi loại lực ma sát. Trong bài này, ta dựa vào quan sát để khảo sát ảnh hưởng của ma sát nhớt đến dao động.



Hình 10.1 Dao động trong môi trường nhớt.

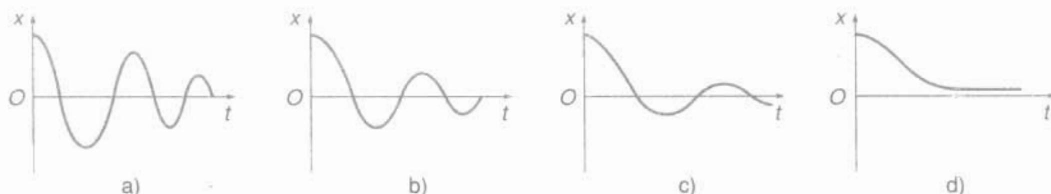
1. Quan sát dao động tắt dần

Có bốn con lắc lò xo giống hệt nhau, vật nặng của mỗi con lắc dao động trong một môi trường khác nhau : a) không khí ; b) nước ; c) dầu ; d) dầu rất nhớt (xem Hình 10.1).

Ta nhận thấy rằng, con lắc a dao động gần như điều hoà trong một thời gian khá dài. Con lắc b dao động với biên độ giảm dần theo thời gian rồi dừng lại ; người ta gọi chuyển động của con lắc b là *dao động tắt dần*. Con lắc c chỉ đi qua lại qua vị trí cân bằng vài lần rồi dừng lại, chuyển động ấy cũng gọi là dao động tắt dần, nhưng tắt nhanh hơn b. Con lắc d được đưa ra khỏi vị trí cân bằng sẽ chầm chậm trở về vị trí cân bằng mà không dao động.

2. Đồ thị của dao động tắt dần

Nếu dùng dao động kí ghi lại đồ thị li độ x của các trường hợp dao động tắt dần, ta sẽ thấy những dạng như sau (Hình 10.2) :



Hình 10.2 Đồ thị của dao động tắt dần.

3. Lập luận về dao động tắt dần

Lực cản của môi trường tác dụng lên vật luôn luôn sinh công âm (vì lực ngược chiều với chuyển động của điểm đặt) làm giảm cơ năng của vật. Cơ năng giảm thì thế năng cực đại $\left(\text{bằng } \frac{1}{2}kA^2\right)$ giảm, do đó biên độ A giảm, tức là dao động tắt dần.

Người ta biết rằng, độ nhớt của môi trường tăng theo thứ tự : không khí, nước, dầu, dầu rất nhớt.

Như vậy có thể kết luận : ***Dao động tắt dần càng nhanh nếu môi trường càng nhớt*** tức là lực cản của môi trường càng lớn.

Lập luận nói trên có thể vận dụng cho mọi loại ma sát, bất kì loại ma sát nào cũng làm giảm cơ năng và làm tắt dần dao động.

Ma sát nhớt là gì ?

Một vật rắn chuyển động trong lòng chất lỏng (hay chất khí) thì chịu một lực cản F từ phía chất lỏng (khí) ngược chiều với chuyển động và có độ lớn tỉ lệ thuận với vận tốc v (khi v nhỏ) :

$$\vec{F} = -\eta\vec{v}$$

Hệ số tỉ lệ η (êta) gọi là hệ số lực cản của chất lỏng đối với vật. Hiện tượng nói trên gọi là ma sát nhớt.

Đối với cùng một vật thì hệ số lực cản càng lớn nếu chất lỏng càng nhớt.

C1 Cơ năng của vật dao động giảm thì biên độ dao động biến đổi thế nào ?

4. Dao động tắt dần chậm

Nếu vật (hay hệ) dao động điều hoà với tần số góc ω_0 chịu thêm tác dụng của lực cản nhỏ thì dao động của vật (hay hệ) ấy trở thành tắt dần chậm.

Dao động tắt dần chậm có thể coi gần đúng là dạng sin với tần số góc ω_0 và với biên độ giảm dần theo thời gian cho đến bằng 0.

Dao động tắt dần có phải là tự do không ? Nếu ta coi môi trường tạo nên lực cản cũng thuộc về hệ dao động thì dao động tắt dần có thể coi là dao động tự do. Trong trường hợp lực cản nhỏ, có thể coi gần đúng dao động tắt dần là điều hoà (trong khoảng vài ba chu kì), tần số góc ω xấp xỉ bằng $\sqrt{\frac{k}{m}}$ cũng gọi là *tần số góc riêng* của con lắc lò xo có ma sát. Đại lượng $T \approx \frac{2\pi}{\omega}$ cũng gọi là *chu kì riêng*.

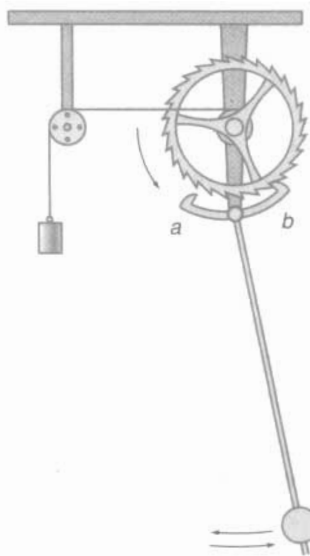
5. Dao động duy trì

Nếu ta *cung cấp thêm năng lượng* cho vật dao động tắt dần (do ma sát) để bù lại sự tiêu hao vì ma sát *mà không làm thay đổi chu kì riêng* của nó thì dao động kéo dài mãi mãi và được gọi là *dao động duy trì*.

Có thể làm như sau : cứ mỗi chu kì ta tác dụng vào vật dao động trong một thời gian ngắn (bằng một cái hích chẳng hạn) một lực cùng chiều với chuyển động. Lực này sẽ

Ví dụ về dao động duy trì : đồng hồ quả lắc

Các đồng hồ cổ dùng quả lắc để đếm giây, có một cơ cấu vừa làm cho kim đồng hồ quay theo nhịp của quả lắc vừa cung cấp năng lượng cho quả lắc trong từng chu kì như sau (Hình 10.3).



Hình 10.3 Cơ chế duy trì dao động của con lắc.

Một quả nặng làm quay một bánh xe có răng cưa xiên. Quả lắc gắn vào một cái cá hình cung *ab*. Nhờ có cá này mà quả lắc điều khiển được sự quay của bánh xe răng cưa (bánh xe này làm quay kim đồng hồ). Cứ mỗi chu kì dao động của quả lắc thì bánh xe quay được một răng, còn cá *ab* thì va chạm hai lần vào răng cưa : một lần ở đầu *b*, một lần ở đầu *a*. Nhờ có va chạm trong khi bánh xe quay mà quả lắc gắn với con cá nhận được thêm năng lượng và nó có thể dao động không tắt dần với tần số bằng tần số dao động tự do nếu ma sát nhỏ.

Trong các đồng hồ để bàn, đeo tay (cơ học) thì dây cót thay cho quả nặng, con lắc xoắn (bánh xe gắn vào một đầu lò xo xoắn tóc) thay cho con lắc treo (quả lắc), còn cơ cấu duy trì dao động thì cũng giống như cơ cấu nói trên.

Trong các đồng hồ điện tử thì con lắc thay bằng tinh thể thạch anh, dây cót thay bằng pin và dùng mạch điện tử làm cơ cấu duy trì dao động.

truyền thêm năng lượng cho vật mà không làm thay đổi chu kì dao động của vật.

Để làm ví dụ, ta xét trường hợp đưa võng :

Người nằm trên võng, võng đu đưa, đó là dao động tắt dần. Nếu mỗi lần võng đi tới gần một vật cố định (ví dụ bức tường) rồi lại ra xa, khi ra xa người nằm võng đẩy nhẹ vào vật ấy để vật tác dụng vào tay một (phản) lực làm cho võng đi ra xa nhanh hơn, thì võng được cấp thêm năng lượng và dao động của võng được duy trì.

6. Ứng dụng của sự tắt dần dao động : cái giảm rung

Có những dao động kéo dài gây nên tác dụng không có lợi, người ta tìm cách làm cho nó chóng tắt. Ví dụ : ô tô đi trên đường gặp chỗ mấp mô thì xe bị nảy lên và rơi xuống đột ngột (bị xóc), làm phát sinh lực va chạm lớn. Người ta tránh xóc bằng cách nối khung xe với trục bánh xe bằng một hệ thống lò xo. Vì có hệ thống lò xo này nên mỗi lần xe đi qua chỗ mấp mô thì khung xe, thay vì bị nảy lên, bắt đầu dao động. Nếu dao động của khung xe kéo dài sẽ gây khó chịu cho người ngồi trên xe, người ta lại phải dùng một cái giảm rung để làm tắt nhanh dao động.

Cái giảm rung gồm một pittông có những lỗ thủng, chuyển động được theo chiều thẳng đứng trong một xilanh chứa đầy dầu nhớt. Pittông gắn với khung xe, xilanh gắn với trục bánh xe. Khi khung xe dao động đối với trục bánh xe thì pittông cũng dao động trong xilanh và dầu nhớt chảy qua các lỗ thủng ở pittông tạo nên một lực ma sát lớn làm tắt nhanh dao động.

Lò xo cùng với cái giảm rung gọi chung là bộ phận giảm xóc.

CÂU HỎI

Trong dao động tắt dần, biên độ và vận tốc cực đại, đại lượng nào giảm nhanh hơn theo thời gian ?

BÀI TẬP

1. Dao động duy trì là dao động tắt dần mà người ta đã

   A. làm mất lực cản của môi trường đối với vật chuyển động.

   B. tác dụng ngoại lực biến đổi điều hoà theo thời gian vào vật dao động.

   C. tác dụng ngoại lực vào vật dao động cùng chiều với chuyển động trong một phần của từng chu kì.

   D. kích thích lại dao động sau khi dao động bị tắt hẳn.

2. Hai con lắc làm bằng hai hòn bi có bán kính bằng nhau, treo trên hai sợi dây có cùng độ dài. Khối lượng của hai hòn bi khác nhau. Hai con lắc cùng dao động trong một môi trường với li độ ban đầu như nhau và vận tốc ban đầu đều bằng 0. Dao động của con lắc nào tắt nhanh hơn : con lắc nặng hay con lắc nhẹ ?

11 DAO ĐỘNG CƯỠNG BỨC CỘNG HƯỞNG

Xét một vật thuộc một hệ có thể thực hiện dao động tắt dần, ví dụ vật nặng khối lượng m trong con lắc lò xo độ cứng k, đặt trong một môi trường có ma sát nhớt nhỏ.

Giả thiết ban đầu vật nặng ở vị trí cân bằng, nếu ta kích thích dao động (bằng cách đưa vật ra khỏi vị trí cân bằng rồi thả ra, chẳng hạn) rồi để cho vật dao động tự do thì dao động của vật sẽ tắt dần. Có thể coi gần đúng là vật dao động với tần số góc $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ gọi là tần số góc riêng của hệ.

1. Dao động cưỡng bức

Bây giờ vật nặng đứng yên ở vị trí cân bằng, ta tác dụng lên vật một ngoại lực F *biến đổi điều hoà* theo thời gian :

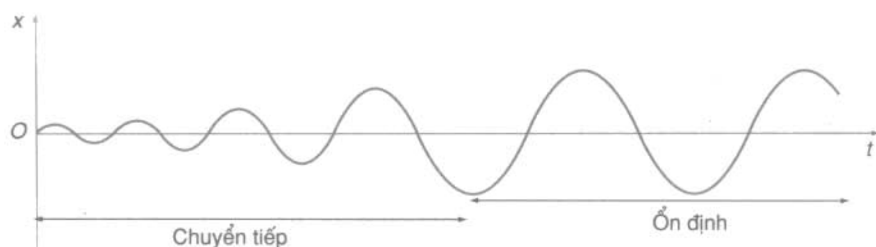
$$F = F_0 \cos \Omega t$$

và xét xem vật chuyển động như thế nào.

Người ta chứng minh được rằng, chuyển động của vật dưới tác dụng của ngoại lực nói trên bao gồm hai giai đoạn :

Giai đoạn chuyển tiếp trong đó dao động của hệ chưa ổn định, giá trị cực đại của li độ (biên độ) cứ tăng dần, cực đại sau lớn hơn cực đại trước. Sau đó, giá trị cực đại của li độ không thay đổi, đó là *giai đoạn ổn định*.

Giai đoạn ổn định kéo dài cho đến khi ngoại lực điều hoà thôi tác dụng. Xem đồ thị dao động trên Hình 11.1.



Hình 11.1

Dao động của vật trong giai đoạn ổn định gọi là *dao động cưỡng bức*. Lí thuyết và thí nghiệm chứng tỏ rằng :

– Dao động cưỡng bức là điều hoà (có dạng sin).

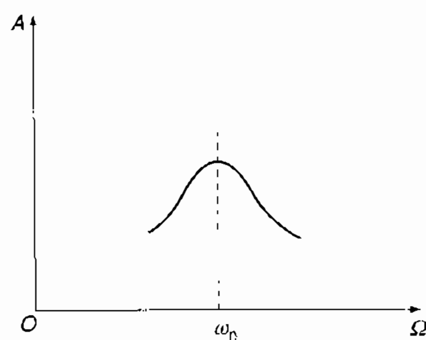
– Tần số góc của dao động cưỡng bức bằng tần số góc Ω của ngoại lực.

– Biên độ của dao động cưỡng bức tỉ lệ thuận với biên độ F_0 của ngoại lực và phụ thuộc vào tần số góc Ω của ngoại lực.

C1 Hãy nêu tất cả các lực tác dụng lên vật trong dao động cưỡng bức.

2. Cộng hưởng

Với một biên độ F_0 của ngoại lực đã cho, biên độ A của dao động cưỡng bức phụ thuộc vào tần số góc Ω của ngoại lực. Sự phụ thuộc đó được biểu diễn bởi một đường cong trên đồ thị của Hình 11.2.



Hình 11.2 Đường biểu diễn A theo Ω.

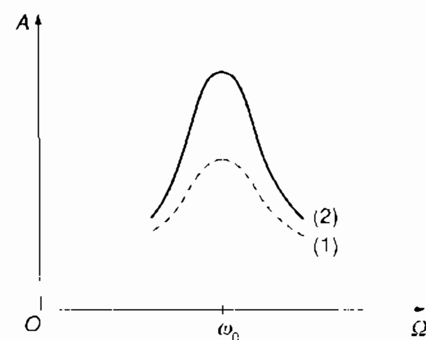
Theo dõi đường biểu diễn, ta thấy rằng : *Giá trị cực đại của biên độ A của dao động cưỡng bức đạt được khi tần số góc của ngoại lực (gần đúng) bằng tần số góc riêng ω_0 của hệ dao động tắt dần.*

Khi biên độ A của dao động cưỡng bức đạt giá trị cực đại, người ta nói rằng có *hiện tượng cộng hưởng*.

Điều kiện để xảy ra cộng hưởng là $\Omega = \omega_0$ (gần đúng).

3. Ảnh hưởng của ma sát

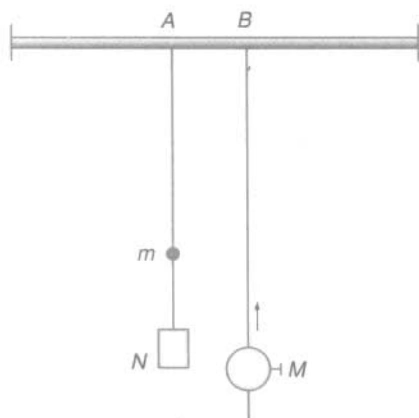
Nếu ta vẽ lại đường biểu diễn sự phụ thuộc của biên độ A của dao động cưỡng bức trong trường hợp hệ dao động và ngoại lực giống như trên, chỉ khác là vật dao động trong một môi trường có lực cản (ma sát nhớt) nhỏ hơn thì sẽ được đường biểu diễn (2) vẽ ở Hình 11.3. Để so sánh ta vẽ lại đường (1) ở Hình 11.2 ứng với ma sát lớn hơn bằng đường chấm chấm.



Hình 11.3 Đường biểu diễn A theo Ω.

Đường (2) ứng với ma sát nhỏ hơn so với đường (1).

Từ sự so sánh, có thể rút ra kết luận : với cùng một ngoại lực tuần hoàn tác dụng, *nếu ma sát giảm thì giá trị cực đại của biên độ tăng*. Hiện tượng cộng hưởng rõ nét hơn.



Hình 11.4 Thí nghiệm về dao động cưỡng bức.

Thí nghiệm về cộng hưởng

Có thể làm một thí nghiệm để kiểm tra những kết quả nêu ở trên (Hình 11.4). A là con lắc gồm một quả nặng khối lượng m gắn cố định vào một thanh kim loại mảnh. N là một tấm mỏng và nhẹ bằng nhựa có thể tháo lắp được. Tần số góc ω_0 của con lắc A khi chưa lắp N được xác định qua chu kì T_0, trong đó $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$.

T_0 đo bằng đồng hồ bấm giây. B là một con lắc khác gồm một quả nặng có khối lượng $M \gg m$ di động được trên một thanh kim loại mỏng có chia độ. Dùng đồng hồ bấm giây xác định chu kì và suy ra tần số góc của con lắc B ứng với mỗi vị trí của M trên thanh kim loại.

Chúng ta treo hai con lắc A (chưa lắp N) và B ở hai điểm gần nhau bằng cách gắn hai thanh kim loại vào một sợi dây cao su dẹt, to bản, căng ngang, mặt

4. Phân biệt dao động cưỡng bức với dao động duy trì

Dao động cưỡng bức là dao động xảy ra dưới tác dụng của ngoại lực tuần hoàn có tần số góc Ω bất kì. Sau giai đoạn chuyển tiếp thì *dao động cưỡng bức có tần số góc bằng tần số góc của ngoại lực*.

Dao động duy trì cũng xảy ra dưới tác dụng của ngoại lực, nhưng ở đây *ngoại lực được điều khiển để có tần số góc ω bằng tần số góc ω_0 của dao động tự do của hệ*.

Dao động cưỡng bức khi cộng hưởng có điểm giống với dao động duy trì : cả hai đều có tần số góc gần đúng bằng tần số góc riêng ω_0 của hệ dao động. Tuy vậy, vẫn có sự khác nhau : dao động cưỡng bức xảy ra trong hệ dưới tác dụng của ngoại lực độc lập đối với hệ, còn dao động duy trì là dao động riêng của hệ được bù thêm năng lượng do một lực được điều khiển bởi chính dao động ấy qua một cơ cấu nào đó.

5. Ứng dụng hiện tượng cộng hưởng

Hiện tượng cộng hưởng có rất nhiều ứng dụng trong thực tế, ví dụ : chế tạo tần số kế, lên dây đàn...

Trong một số trường hợp, hiện tượng cộng hưởng có thể dẫn tới kết quả làm gãy, vỡ các vật bị dao động cưỡng bức. Một lực nhỏ, nhưng biến đổi tuần hoàn có thể làm gãy những máy móc thiết bị lớn rất chắc chắn. Khi chế tạo các máy móc, phải cố làm sao cho tần số riêng của mỗi bộ phận trong máy khác nhiều so với tần số biến đổi của các lực có thể tác dụng lên bộ phận ấy, hoặc làm cho dao động riêng tắt rất nhanh. Khi lắp đặt

máy cũng phải tránh để cho tần số rung do máy tạo nên trùng với tần số riêng của các vật gần máy. Ví dụ : nếu một động cơ điện lắp trên một tấm ván, mà tần số quay của động cơ gần bằng tần số riêng của tấm ván thì ván có thể rung rất mạnh (Hình 11.5).



Hình 11.5 *Động cơ điện lắp trên tấm ván.*



a) Sơ đồ cấu tao



b) Hình dạng bên ngoài

Hình 11.6 *Tần số kế.*

phẳng của dây thẳng đứng. Cho con lắc *B* dao động trong mặt phẳng vuông góc với hình vẽ. Dây cao su truyền cho con lắc *A* lực cưỡng bức do con lắc *B* tác dụng với tần số góc ω. Lực đó bắt *A* phải dao động và sau thời gian chuyển tiếp, *A* dao động cưỡng bức với tần số góc ω (chứ không phải với tần số góc riêng ω_0 của con lắc *A*).

Thay đổi vị trí của *M* dọc theo thanh kim loại có chia độ để thay đổi tần số góc ω của con lắc *B*, tức là của ngoại lực tác dụng lên con lắc *A*, ta có thể vẽ được đường biểu diễn có dạng như đường (2) ở Hình 11.3 và ta nghiệm lại rằng biên độ lớn nhất của *A* ứng với giá trị $\omega \approx \omega_0$ lúc ấy độ dài của hai con lắc xấp xỉ bằng nhau.

Bây giờ nếu lắp tấm *N* vào con lắc *A* để tăng ma sát của không khí và lặp lại thí nghiệm như trên thì sẽ thấy rằng với cùng một giá trị của ω, biên độ dao động của con lắc *A* nhỏ hơn so với lúc chưa lắp *N* (lúc ấy ma sát nhỏ hơn). Nếu vẽ đường biểu diễn biên độ *A* theo ω thì sẽ được một đường có dạng như đường (1) ở Hình 11.3.

Tần số kế

Tần số kế là một máy để đo tần số dòng điện xoay chiều. Tần số kế gồm có một loạt lá đàn hồi bằng thép có tần số dao động riêng khác nhau và đã biết, các lá này cùng gắn vào một thanh kim loại *T* (Hình 11.6). Dòng điện xoay chiều có tần số *f* mà ta muốn đo chạy qua một nam châm điện, nam châm điện tác dụng lực hút có tần số $2f$ lên các lá thép, làm cho các lá này dao động cưỡng bức. Lá nào có tần số riêng trùng với tần số $2f$ của lực thì sẽ có biên độ dao động lớn nhất. Dựa vào đó, ta biết được tần số của dòng điện.

CÂU HỎI

1. Thế nào là sự cộng hưởng ? Sự cộng hưởng có lợi hay có hại ?

2. Việc tạo nên dao động cưỡng bức khác với việc tạo nên dao động duy trì như thế nào ?

BÀI TẬP

1. Biên độ của dao động cưỡng bức không phụ thuộc

   A. pha ban đầu của ngoại lực tuần hoàn tác dụng lên vật.

   B. biên độ ngoại lực tuần hoàn tác dụng lên vật.

   C. tần số ngoại lực tuần hoàn tác dụng lên vật.

   D. hệ số lực cản (của ma sát nhớt) tác dụng lên vật dao động.

2. Một xe ô tô chạy trên đường, cứ cách 8 m lại có một cái mô nhỏ. Chu kì dao động tự do của khung xe trên các lò xo là 1,5 s. Xe chạy với vận tốc nào thì bị rung mạnh nhất ?

Em có biết ?

Một cây cầu bắc ngang sông Phô-tan-ka ở Xanh Pê-téc-bua (Nga) được thiết kế và xây dựng đủ vững chắc cho 300 người đồng thời đứng trên cầu. Năm 1906, có một trung đội bộ binh (36 người) đi đều bước qua cầu, cầu gãy !

Một cây cầu khác được xây dựng năm 1940 qua eo biển Ta-kô-ma (Mĩ) chịu được tải trọng của nhiều xe ô tô nặng đi qua. Sau bốn tháng, một cơn gió mạnh tạo nên áp lực biến đổi tuần hoàn theo thời gian trên mặt cầu. Biên độ của áp lực nhỏ hơn nhiều lần tải trọng mà cầu chịu được. Cầu đung đưa và gãy !

Trong hai sự cố trên đã xảy ra hiện tượng cộng hưởng. Những lực biến đổi tuần hoàn có biên độ nhỏ nhưng có tần số bằng tần số dao động riêng của cầu đã gây nên hiệu quả lớn làm gãy cầu.

Sau sự cố thứ nhất, trong điều lệnh của quân đội Nga có đưa thêm vào nội dung "Bộ đội không đi đều bước khi qua cầu". Sau sự cố thứ hai, một số cầu treo ở Mĩ có cấu trúc giống cầu qua Ta-kô-ma được sửa chữa theo hướng thay đổi tần số dao động riêng để tránh xa tần số dao động mà gió bão có thể tạo ra trên cầu.

12 TỔNG HỢP DAO ĐỘNG

1. Vấn đề tổng hợp dao động

Có một máy nổ đặt trên bệ, pittông của máy chuyển động dao động so với khung máy, khung máy lại dao động so với bệ máy. Chuyển động của pittông so với bệ máy gọi là tổng hợp của hai dao động cơ nói trên.

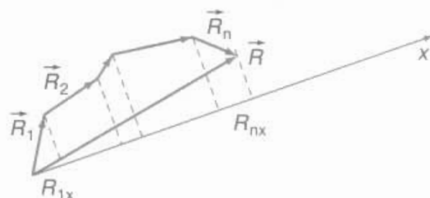
Nếu hai dao động cơ được thực hiện theo cùng một phương thì li độ của chuyển động tổng hợp bằng tổng li độ của hai dao động hợp thành.

Như vậy, muốn tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương cần cộng hai hàm dạng sin. Sau đây ta xét quy tắc cộng trong trường hợp hai hàm có cùng tần số góc.

Định lí về hình chiếu

Cho $\vec{R}$ là tổng của các vectơ $\vec{R}_1$, $\vec{R}_2$, ..., $\vec{R}_n$:

$$\vec{R} = \vec{R}_1 + \vec{R}_2 + ... + \vec{R}_n$$



Hình 12.1 Quy tắc chiếu vectơ.

Theo quy tắc đa giác : vectơ $\vec{R}$ là vectơ nối đầu và cuối của đường gãy khúc đa giác mà các cạnh lần lượt là $\vec{R}_1$, $\vec{R}_2$, ..., $\vec{R}_n$.

Nếu chiếu tất cả lên trục x bất kì, ta sẽ có :

$$ch_x\vec{R} = ch_x\vec{R}_1 + ch_x\vec{R}_2 + ... + ch_x\vec{R}_n$$

tức là *hình chiếu của tổng $\vec{R}$ thì bằng tổng các hình chiếu.*

2. Tổng của hai hàm dạng sin cùng tần số góc. Phương pháp giản đồ Fre-nen

Cho hai hàm dạng sin :

$$x_1 = A_1\cos(\omega t + \varphi_1) \quad (12.1)$$

$$x_2 = A_2\cos(\omega t + \varphi_2) \quad (12.2)$$

Chúng ta sẽ tìm biểu thức của tổng của chúng

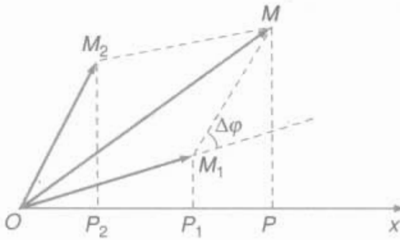
$$x = x_1 + x_2 \quad (12.3)$$

bằng phương pháp giản đồ Fre-nen (còn gọi là phương pháp giản đồ vectơ quay).

Vẽ vectơ quay $\overrightarrow{OM_1}$ biểu diễn dao động điều hoà x_1 và $\overrightarrow{OM_2}$ biểu diễn x_2 vào thời điểm $t = 0$.

Theo quy ước ở mục 9, Bài 6 thì :

- $\overrightarrow{OM_1}$ có độ dài A_1 và hợp với trục x góc $(Ox, \overrightarrow{OM}_1) = \varphi_1$ vào lúc $t = 0$.



$ch_x \overrightarrow{OM_1} = \overline{OP_1} = x_1$

$ch_x \overrightarrow{OM_2} = \overline{OP_2} = x_2$

$ch_x \overrightarrow{OM} = \overline{OP} = x = x_1 + x_2$

Hình 12.2 Giản đồ Fre-nen.

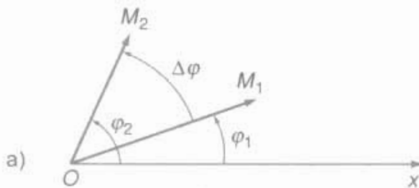
Độ lệch pha

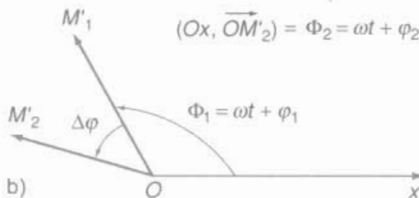
Vào thời điểm t, pha của hai dao động x_1 và x_2 lần lượt có giá trị $\Phi_1 = \omega t + \varphi_1$ và $\Phi_2 = \omega t + \varphi_2$, hiệu số của chúng

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (\omega t + \varphi_2) - (\omega t + \varphi_1)$$
$$= \varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$$

có giá trị không đổi và bằng hiệu số pha ban đầu.

Xem minh hoạ ở Hình 12.3.





Hình 12.3 Độ lệch pha của hai dao động.

a) Vị trí của hai vectơ quay vào thời điểm $t = 0$. Độ lệch pha ban đầu $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

- $\overrightarrow{OM}_2$ có độ dài A_2 và hợp với trục x góc $(Ox, \overrightarrow{OM}_2) = \varphi_2$ vào lúc $t = 0$.

Vẽ hình bình hành mà hai cạnh là $\overrightarrow{OM}_1$ và $\overrightarrow{OM}_2$, đường chéo $\overrightarrow{OM}$ của hình bình hành là tổng của hai vectơ $\overrightarrow{OM}_1$ và $\overrightarrow{OM}_2$ (Hình 12.2).

$$\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OM}_1 + \overrightarrow{OM}_2 \quad (12.4)$$

Vectơ $\overrightarrow{OM}$ có hình chiếu trên trục x là tổng của x_1 và x_2.

$$x = x_1 + x_2$$

Vậy $\overrightarrow{OM}$ chính là *vectơ quay biểu diễn tổng* của x_1 và x_2.

Góc ở đỉnh O của hình bình hành vào thời điểm $t = 0$ bằng hiệu số pha ban đầu $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ của hai dao động x_1 và x_2.

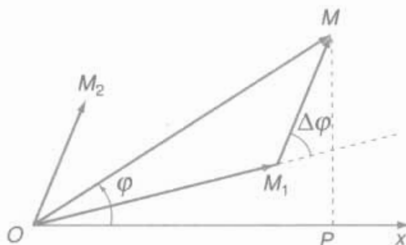
Hai vectơ quay $\overrightarrow{OM}_1$ và $\overrightarrow{OM}_2$ quay đều quanh O với cùng tốc độ góc ω, vì thế góc giữa hai vectơ này không đổi và hình bình hành có cạnh OM_1 và OM_2 cũng không biến dạng, hình này chỉ quay đều quanh O với tốc độ góc ω như hai cạnh của nó.

Vectơ $\overrightarrow{OM}$ biểu diễn dao động tổng hợp x là đường chéo của hình bình hành, vectơ này cũng quay đều quanh O với tốc độ góc ω.

3. Biên độ và pha ban đầu của dao động tổng hợp

Độ dài của vectơ quay $\overrightarrow{OM}$ (biên độ A) và góc $\varphi = (Ox, \overrightarrow{OM})$ mà $\overrightarrow{OM}$ hợp với trục x vào thời điểm $t = 0$ (pha ban đầu) có thể tính được theo công thức lượng giác trong tam giác OM_1M (Hình 12.4) :

$$(OM)^2 = (OM_1)^2 + (M_1M)^2 - 2(OM_1)(M_1M)\cos\widehat{OM_1M}$$
$$= A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$



Hình 12.4 Giản đồ Fre-nen để tìm A và φ.

Độ dài của vectơ quay $\overrightarrow{OM}$ chính là biên độ A của dao động tổng hợp x, còn góc $\varphi = (Ox, \overrightarrow{OM})$ chính là pha ban đầu :

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (12.5)$$

$$\tan\varphi = \frac{PM}{OP} = \frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2} \quad (12.6)$$

Vậy *biểu thức của dao động tổng hợp là :*

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) \quad (12.7)$$

trong đó biên độ A và pha ban đầu φ cho bởi (12.5) và (12.6).

Biên độ A phụ thuộc vào các biên độ A_1 và A_2 và vào độ lệch pha của các dao động x_1 và x_2.

Với A_1 và A_2 đã cho thì biên độ A có giá trị lớn nhất khi độ lệch pha $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$ (x_1 và x_2 cùng pha) hoặc bằng một số nguyên lần 2π :

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2$$

hay là $A = A_1 + A_2$.

Biên độ A có giá trị nhỏ nhất khi độ lệch pha $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi$ (x_1 và x_2 ngược pha) hoặc bằng π cộng một số nguyên lần 2π :

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2$$

hay là $A = |A_1 - A_2|$.

b) Vị trí của hai vectơ quay vào thời điểm t. Độ lệch pha :

$$\Phi_2 - \Phi_1 = \omega t + \varphi_2 - (\omega t + \varphi_1)$$
$$= \varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$$
= độ lệch pha ban đầu.

Hiệu số pha còn gọi là độ lệch pha của hai dao động. Dao động nào có pha ban đầu lớn hơn thì gọi là *sớm pha* so với dao động kia. Dao động có pha ban đầu nhỏ hơn gọi là trễ pha so với dao động kia. Trong ví dụ mà ta đang xét thì dao động x_2 sớm pha hơn x_1 một góc $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, cũng có thể nói dao động x_1 *trễ pha* so với x_2 một góc $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Nếu $\Delta\varphi = 0$ thì hai dao động *cùng pha*.

Nếu $\Delta\varphi = \pi$ thì hai dao động *ngược pha*.

Ví dụ

Hai dao động cơ điều hoà có cùng phương và cùng tần số $f = 50$ Hz có biên độ lần lượt là $A_1 = 2a$, $A_2 = a$ và có pha ban đầu lần lượt là $\varphi_1 = \frac{\pi}{3}$ và $\varphi_2 = \pi$.

Tìm biên độ và pha ban đầu của dao động tổng hợp.

Bài giải

Tần số góc $\omega = 2\pi f = 100\pi$ rad/s.

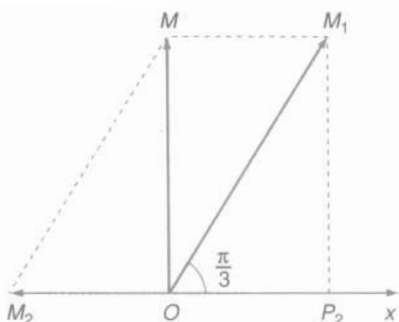
Biểu thức của hai dao động :

$$x_1 = 2a\cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \leftrightarrow \overrightarrow{OM_1}$$

$$x_2 = a\cos(100\pi t + \pi) \leftrightarrow \overrightarrow{OM_2}$$

Vào thời điểm ban đầu ($t = 0$) hai vectơ quay biểu diễn x_1 và x_2 ở vị trí như ở Hình 12.5.

C1 Hai dao động x_1 và x_2 ở trên, dao động nào sớm pha hơn ? Sớm pha bao nhiêu ?



Hình 12.5 Giản đồ Fre-nen cho bài giải.

Chú ý rằng : $ch_x \overrightarrow{OM}_1 = 2a\cos\frac{\pi}{3} = a$

Như vậy vectơ tổng $\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OM}_1 + \overrightarrow{OM}_2$ biểu diễn dao động tổng hợp $x = x_1 + x_2$ vuông góc với trục x (vào thời điểm $t = 0$) và có độ dài là :

$$A = \sqrt{OM_1^2 - OM_2^2} = \sqrt{(2a)^2 - a^2} = a\sqrt{3}$$

Biên độ của dao động tổng hợp là $a\sqrt{3}$, pha ban đầu là $\frac{\pi}{2}$. Từ đó :

$$x = a\sqrt{3}\cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$$

C2 Dùng công thức (12.5) và (12.6) để giải bài toán trên.

CÂU HỎI

Nêu rõ vai trò của độ lệch pha khi tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương và cùng tần số góc.

BÀI TẬP

1. Xét dao động tổng hợp của hai dao động hợp thành có cùng phương và cùng tần số. Biên độ của dao động tổng hợp **không** phụ thuộc
   A. biên độ của dao động hợp thành thứ nhất.
   B. biên độ của dao động hợp thành thứ hai.
   C. tần số chung của hai dao động hợp thành.
   D. độ lệch pha của hai dao động hợp thành.

2. Hai dao động cơ điều hoà cùng phương, cùng tần số góc $\omega = 50$ rad/s, có biên độ lần lượt là 100 mm và 173 mm, dao động thứ hai trễ pha $\frac{\pi}{2}$ so với dao động thứ nhất. Xác định dao động tổng hợp.
   Hướng dẫn : Có thể chọn gốc thời gian sao cho pha ban đầu của dao động thứ nhất bằng 0.

3. Dùng công thức lượng giác (tổng của hai cosin) tìm tổng hợp của hai dao động điều hoà cùng phương, cùng tần số góc ω, cùng biên độ A và có độ lệch pha $\Delta\varphi$. Đối chiếu với kết quả nhận được bằng cách dùng phương pháp giản đồ Fre-nen.



THỰC HÀNH : XÁC ĐỊNH CHU KÌ DAO ĐỘNG CỦA CON LẮC ĐƠN HOẶC CON LẮC LÒ XO VÀ GIA TỐC TRỌNG TRƯỜNG

1. Mục đích

- Hiểu được hai phương án thí nghiệm để xác định chu kì của con lắc đơn và con lắc lò xo thẳng đứng.
- Thực hiện được một trong hai phương án để xác định chu kì dao động của một con lắc.
- Tính được gia tốc trọng trường từ kết quả thí nghiệm trên.
- Củng cố kiến thức về dao động cơ, kĩ năng lựa chọn phương án, kĩ năng sử dụng thước đo độ dài và đồng hồ đo thời gian. Bước đầu làm quen với phòng thí nghiệm ảo.

2. Cơ sở lí thuyết

- Khái niệm về con lắc đơn, con lắc lò xo, điều kiện dao động nhỏ.
- Các công thức về dao động của con lắc đơn và con lắc lò xo :

– Đối với con lắc đơn : $s = s_0\cos\omega t$; $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$.

– Đối với con lắc lò xo : $x = x_0\cos\omega t$; $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

- Chú ý đến tác dụng của gia tốc trọng trường đối với dao động của con lắc đơn và con lắc lò xo thẳng đứng.

3. Phương án thí nghiệm

a) Phương án 1 : Thí nghiệm với con lắc đơn

- Dụng cụ thí nghiệm

– Một giá đỡ cao 1 m để treo con lắc, có tấm chỉ thị nằm ngang với các vạch chia đối xứng.

– Một cuộn chỉ.

– Một đồng hồ bấm giây (hoặc đồng hồ đeo tay có kim giây).

– Một thước đo độ dài có độ chia tới milimét.

– Hai quả nặng cỡ 50 g và 20 g có móc treo.

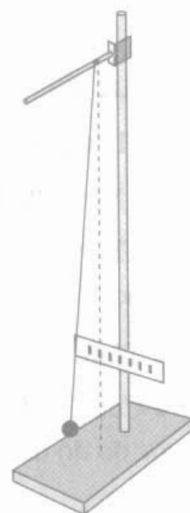
- Tiến trình thí nghiệm

– *Bước 1 :* Tạo một con lắc đơn với độ dài dây treo cỡ 75 cm và quả nặng cỡ 50 g, treo lên giá đỡ sao cho dây treo gần sát với tấm chỉ thị (Hình 13.1).

– *Bước 2 :* Cho con lắc dao động với góc lệch ban đầu α_0 cỡ 5^o và điều chỉnh sao cho mặt phẳng dao động của con lắc song song với tấm chỉ thị. Sau đó, đo thời gian t để con lắc thực hiện được 20 chu kì. Lưu ý chọn thời điểm t_0 sao cho dễ quan sát. Lặp lại hai lần để có các giá trị t_1, t_2.

– *Bước 3 :* Thay thế quả nặng của con lắc bằng quả nặng 20 g và lặp lại thí nghiệm như bước 2 để có các giá trị t_3, t_4 ; so sánh với t_1, t_2.

– *Bước 4 :* Đổi góc lệch ban đầu α_0 cỡ 10^o và làm lại thí nghiệm với con lắc ở bước 3 để có các giá trị t_5, t_6 rồi ghi số liệu vào Bảng 13.1.


Hình 13.1

– *Bước 5 :* Từ các giá trị t_i , hãy nhận xét và tìm cách tính chu kì T của con lắc, từ đó tính gia tốc trọng trường g tại nơi đang làm thí nghiệm.

Các nhóm nên làm thí nghiệm với các độ dài dây treo khác nhau, sau đó so sánh và thảo luận về kết quả của g.

Bảng 13.1

Lần đo	Độ dài	Khối lượng	Góc α_0	$t = 20T$	T
1					
2					
3					
4					
5					
6					

b) Phương án 2 : Thí nghiệm với con lắc lò xo thẳng đứng

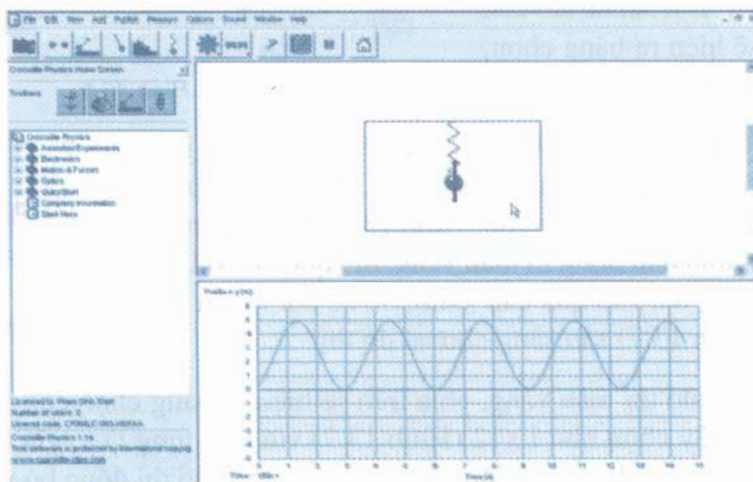
• Dụng cụ thí nghiệm

Sử dụng thí nghiệm ảo với phần mềm Crocodile (hoặc tương tự).

– Cài đặt phần mềm vào máy tính hoặc chạy trực tiếp từ phần mềm dạng portable. Nên thực hiện trong phòng máy tính của trường.

– Giấy kẻ ô để vẽ đồ thị và một đồng hồ bấm giây thật.

– Toàn cảnh phòng thí nghiệm ảo sẽ sử dụng như Hình 13.2.



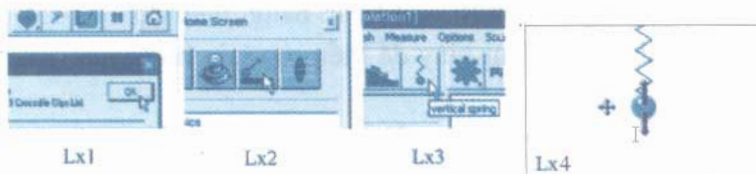
Lx0

Hình 13.2

• Tiến trình thí nghiệm

– *Bước 1 :* Tạo một con lắc lò xo ảo dao động theo phương thẳng đứng (Hình 13.3).

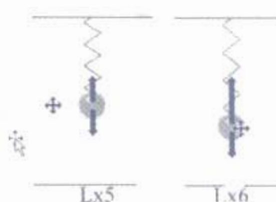
Chạy file CrocPhys.exe, chờ hiện ra bảng như Hình Lx1 rồi nhấn chuột như hình vẽ để bước vào phòng thí nghiệm ảo. Sau đó nhấn theo Lx2 để chọn phòng thí nghiệm CƠ HỌC, rồi Lx3 để chọn dụng cụ là con lắc lò xo thẳng đứng. Đến đây, dùng chuột để di chuyển con lắc từ trên "giá để dụng cụ" xuống "bàn làm việc" là khoảng trắng lớn bên dưới.



Hình 13.3

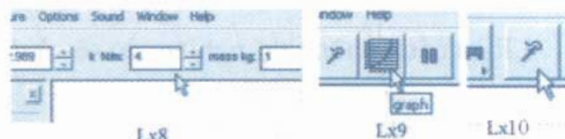
Ban đầu con lắc màu xanh đứng yên ở vị trí cân bằng, hai vectơ lực trực đối như Lx5 (Hình 13.4).

– *Bước 2 :* Cho con lắc dao động bằng cách nhấn chuột trái vào quả cầu, di thẳng đứng (lên hoặc xuống) để kéo dãn lò xo cỡ 5 mm như Lx6 (Hình 13.4) rồi buông ra. Con lắc sẽ dao động, và ta sẽ thấy hai vectơ luôn biến đổi.



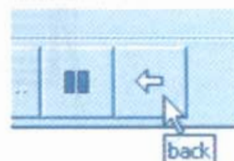
Hình 13.4

Chọn các thông số cho con lắc như Lx8 (Hình 13.5). Nhấn vào con lắc, phía trên sẽ hiện ra bảng chọn, chọn $k = 4$ N/m và $m = 1$ kg.



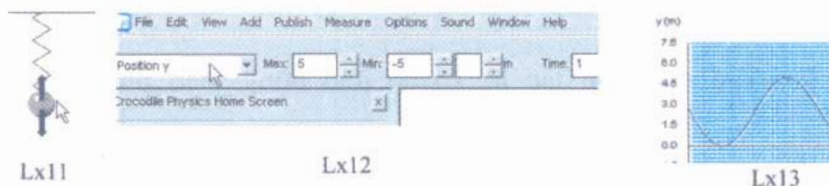
Hình 13.5

– *Bước 3 :* Dùng dao động kí ảo để vẽ đồ thị dao động của con lắc bằng cách : Trong bảng chọn như Lx8, nhấn tiếp vào mũi tên *back* để về bảng chọn chính (Hình 13.6). Chọn tiếp như Lx9 để có màn hình dao động kí màu vàng, di "que đo" ở Lx10 (Hình 13.5) xuống đặt vào quả cầu xanh, nó sẽ đổi thành màu đỏ như Lx11 (Hình 13.7) sẵn sàng cho vẽ đồ thị.



Hình 13.6

Nhấn vào vùng đồ thị màu vàng, phía trên sẽ hiện ra bảng chọn các thông số cho dao động kí ảo. Hãy chọn như Lx12 (Hình 13.7) với trục tung là *y*, giá trị max = 5, min = – 5, thời gian 1 s. Trên dao động kí ảo sẽ xuất hiện đồ thị đồng bộ với dao động của con lắc như Lx13 (Hình 13.7). Nếu muốn dao động tạm ngừng thì nhấn vào biểu tượng *pause* ở bảng chọn.



Hình 13.7

– *Bước 4 :* Quan sát, nhận xét, phân tích thí nghiệm

+ Quan sát dao động của con lắc, nhận xét về sự biến thiên của các vectơ ?

+ Phân tích đồ thị trên màn, từ đó suy ra chu kì, vị trí cân bằng, biên độ.

+ Vẽ lại đồ thị trên giấy. Dùng đồng hồ đếm giây để kiểm tra lại chu kì của con lắc ảo.

+ Thay đổi độ dãn (nén) ban đầu, cho con lắc dao động, nhận xét.

+ Hãy tìm tòi phát hiện thêm khả năng của phòng thí nghiệm ảo này để khảo sát dao động của con lắc trên Mặt Trăng và trong vũ trụ.

4. Báo cáo thí nghiệm

a) Mục đích thí nghiệm.

b) Cơ sở lí thuyết.

c) Tiến trình thí nghiệm.

d) Kết quả thí nghiệm : bảng biểu, đồ thị, kết quả tính toán chu kì T (và g nếu làm phương án 1) với sai số.

e) Nhận xét ưu nhược điểm của phép đo và cách tính kết quả.



CÂU HỎI

1. Có thể làm thí nghiệm về con lắc đơn với góc lệch tương tự như ở Hình 7.1 được không ? Tại sao ?
2. Người ta đã làm thí nghiệm xác định chu kì của một con lắc lò xo thẳng đứng ở chân núi, rồi làm lại ở đỉnh núi đó. Hỏi giá trị đo được ở nơi nào lớn hơn ? Vì sao ?



BÀI TẬP

1. Trong thí nghiệm với con lắc đơn đã làm, khi thay quả nặng 50 g bằng một quả nặng 20 g thì
   A. chu kì của con lắc tăng lên rõ rệt. B. chu kì của con lắc giảm đi rõ rệt.
   C. tần số của con lắc giảm đi nhiều. D. tần số của con lắc hầu như không đổi.
2. Trong thí nghiệm với con lắc đơn và con lắc lò xo thì gia tốc trọng trường g
   A. chỉ ảnh hưởng tới chu kì dao động của con lắc lò xo thẳng đứng.
   B. không ảnh hưởng tới chu kì dao động của cả con lắc lò xo thẳng đứng và con lắc lò xo nằm ngang.
   C. chỉ ảnh hưởng tới chu kì dao động của con lắc lò xo nằm ngang.
   D. không ảnh hưởng tới chu kì con lắc đơn.
3. Tại cùng một địa điểm, người ta thấy trong thời gian con lắc đơn *A* dao động được 10 chu kì thì con lắc đơn *B* thực hiện được 6 chu kì. Biết hiệu số độ dài của chúng là 16 cm, tìm độ dài của mỗi con lắc.

TÓM TẮT CHƯƠNG II

1. Dao động cơ điều hoà là chuyển động của một vật mà li độ biến đổi theo định luật dạng sin theo thời gian :

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

trong đó A là biên độ, ω là tần số góc, $\omega t + \varphi$ là pha, φ là pha ban đầu.

Chu kì T của dao động :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Tần số f của dao động :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Mỗi dao động điều hoà được biểu diễn bằng một vectơ quay $\overrightarrow{OM}$ có độ dài bằng biên độ A, vectơ này quay quanh O với tốc độ góc ω, vào thời điểm ban đầu $t = 0$, vectơ quay hợp với trục x một góc bằng pha ban đầu. Hình chiếu của vectơ quay $\overrightarrow{OM}$ lên trục x thì bằng li độ của dao động.

2. Nếu một vật khối lượng m, mỗi khi dịch chuyển khỏi vị trí cân bằng O một đoạn x, chịu một lực tác dụng $F = -kx$ thì vật ấy sẽ dao động điều hoà quanh O với tần số góc $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$. Biên độ A và pha ban đầu φ phụ thuộc cách kích thích và chọn gốc thời gian.

3. Dao động tự do là dao động xảy ra trong một hệ dưới tác dụng của nội lực, sau khi hệ được kích thích ban đầu : đưa ra khỏi trạng thái cân bằng rồi thả ra. Hệ có khả năng thực hiện dao động tự do gọi là hệ dao động. Mọi dao động tự do của một hệ dao động đều có cùng tần số góc ω_0 gọi là *tần số góc riêng* của hệ ấy.

4. Con lắc lò xo là một hệ dao động. Con lắc đơn và Trái Đất, con lắc vật lí và Trái Đất là những hệ dao động. Dưới đây là bảng các đặc trưng chính của một số hệ dao động.

	Con lắc lò xo	Con lắc đơn	Con lắc vật lí
Cấu trúc	Hòn bi (m) gắn vào lò xo (k)	Hòn bi (m) treo ở đầu sợi dây (l)	Vật rắn (m, I) quay quanh trục nằm ngang
Vị trí cân bằng	Lò xo không dãn (nằm ngang)	Dây treo thẳng đứng	QG thẳng đứng
Lực tác dụng	Lực đàn hồi của lò xo có giá trị $F = -kx$ x : li độ thẳng	Trọng lực của hòn bi và phản lực của dây treo $F = P_t = -m\frac{g}{l}s$ s : li độ cong	Trọng lực của vật rắn và phản lực của trục quay có momen $M = -mgd\sin\alpha$ α : li độ góc
Phương trình động lực học của dao động	$x'' + \omega^2 x = 0$	$s'' + \omega^2 s = 0$	$\alpha'' + \omega^2 \alpha = 0$
Tần số góc	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$	$\omega = \sqrt{\frac{mgd}{I}}$
Phương trình dao động	$x = A\cos(\omega t + \varphi)$ x trong giới hạn đàn hồi	$s = s_0\cos(\omega t + \varphi)$ $s_0 \ll l$	$\alpha = \alpha_0\cos(\omega t + \varphi)$ $\alpha_0 \ll 1$ rad
Cơ năng	$W = \frac{1}{2}kA^2$ $= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$	$W = mgl(1 - \cos\alpha_0)$ $= \frac{1}{2}m\frac{g}{l}s_0^2$	

5. Dao động tự do không có ma sát là điều hoà, khi có ma sát là tắt dần : "biên độ" giảm theo thời gian. Khi ma sát lớn, dao động không xảy ra. Khi ma sát nhỏ, dao động tắt dần có thể coi gần đúng là tuần hoàn với tần số góc bằng tần số góc ω_0 của dao động điều hoà khi không có ma sát.

Muốn duy trì dao động tự do khi có ma sát, người ta dùng một cơ cấu để cấp thêm năng lượng cho dao động bù lại sự tiêu hao vì ma sát và không làm thay đổi chu kì riêng của nó.

6. Nếu tác dụng một ngoại lực biến đổi điều hoà có tần số Ω lên một hệ dao động có tần số riêng ω_0 thì sau một thời gian chuyển tiếp, hệ sẽ dao động với tần số Ω của ngoại lực, dao động này gọi là dao động cưỡng bức.

Biên độ của dao động cưỡng bức phụ thuộc vào biên độ và tần số Ω của ngoại lực. Khi tần số này bằng (gần đúng) tần số riêng ω_0 của hệ dao động thì biên độ của dao động cưỡng bức đạt giá trị cực đại, đó là hiện tượng cộng hưởng.

7. Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương là cộng hai hàm x_1 và x_2 dạng sin. Nếu hai hàm cùng tần số góc ω thì có thể dùng phương pháp giản đồ Fre-nen : vẽ các vectơ quay $\overrightarrow{OM_1}$ và $\overrightarrow{OM_2}$ biểu diễn x_1 và x_2 vào thời điểm $t = 0$. Vectơ tổng $\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OM_1} + \overrightarrow{OM_2}$ chính là vectơ quay biểu diễn dao động tổng hợp $x = x_1 + x_2$. Bằng công thức lượng giác có thể tính độ dài của OM (tức là biên độ A của x) và góc $(Ox, \overrightarrow{OM})$ (tức là pha ban đầu φ của x).

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\tan\varphi = \frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}$$

CHƯƠNG III
SÓNG CƠ



Nhìn sóng lan truyền trên mặt nước, cậu bé thắc mắc tự hỏi : Vì sao cánh bèo chỉ dập dình tại chỗ mà không dịch chuyển theo sóng ?

Hằng ngày, hiện tượng sóng xảy ra rất phổ biến xung quanh ta. Có nhiều loại sóng khác nhau như sóng mặt nước, sóng âm, sóng siêu âm, sóng vô tuyến điện, sóng điện từ, sóng ánh sáng... Vậy sóng là gì ? Quy luật của chuyển động sóng và những hiện tượng đặc trưng của sóng là gì ? Việc nghiên cứu chuyển động sóng có những ứng dụng quan trọng nào trong đời sống và kĩ thuật ? Đó là những vấn đề chính sẽ được giải đáp trong chương này. Chúng ta bắt đầu từ loại sóng dễ nhận biết nhất là sóng cơ.

14 SÓNG CƠ PHƯƠNG TRÌNH SÓNG

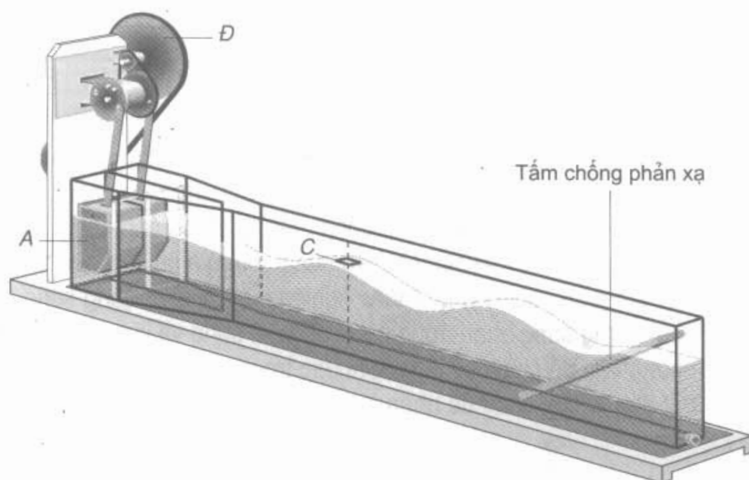
Hằng ngày, ta thường nghe nói đến sóng mặt nước, sóng âm, sóng vô tuyến điện. Vậy sóng là gì, nó có tính chất gì ? Sóng có tác dụng gì, có ý nghĩa đối với đời sống và sản xuất như thế nào ?

1. Hiện tượng sóng

a) Quan sát

Ném một viên đá xuống nước. Trên mặt nước xuất hiện những vòng tròn đồng tâm lồi, lõm xen kẽ lan rộng dần tạo thành sóng mặt nước.

Có thể tạo sóng mặt nước trong một thiết bị bằng kính hình hộp chữ nhật (Hình 14.1) gọi là *kênh tạo sóng*. Khi quay đĩa *Đ* làm cho hình trụ *A* dao động lên, xuống, thì dao động đó được truyền cho các phần tử nước từ gần ra xa. Quan sát qua thành kênh thẳng đứng, ta thấy mặt cắt của nước có dạng sin. Một miếng xốp nhỏ *C* nổi trên mặt nước dao động lên, xuống tại chỗ, còn các đỉnh sóng (chỗ mặt nước lồi lên) chuyển động theo phương nằm ngang ngày càng ra xa tâm dao động.



Hình 14.1 Thiết bị tạo sóng mặt nước trong hộp bằng kính.

b) Khái niệm sóng cơ

Sóng cơ là dao động cơ lan truyền trong một môi trường.

Khi các phần tử của môi trường dao động theo phương vuông góc với phương truyền sóng, ta gọi đó là *sóng ngang*. Ví dụ như sóng mặt nước.

Khi các phần tử của môi trường dao động theo phương truyền sóng, ta gọi đó là *sóng dọc*. Ví dụ : buộc một đầu lò xo dài vào một điểm cố định, cầm đầu kia của lò xo và truyền cho nó một dao động theo phương của lò xo (Hình 14.2). Các vòng lò xo lần lượt bị nén rồi bị dãn, truyền dao động đi dọc theo lò xo tạo thành sóng dọc.

C1 Quan sát một lò xo khi có sóng dọc, ta thấy các vùng bị nén (hay dãn) truyền đi dọc theo lò xo. Trong khi đó, nếu quan sát một vòng lò xo có đánh dấu, ta thấy nó chuyển động thế nào ?



Hình 14.2 Sóng dọc trên lò xo bị nén - dãn.

c) Giải thích sự tạo thành sóng cơ

Hình 14.3 biểu diễn các phần tử của sợi dây đàn hồi. Giữa các phần tử có lực đàn hồi liên kết chúng.

Truyền cho phần tử 0 một dao động theo phương thẳng đứng có chu kì T.

– Ở thời điểm ban đầu $t = 0$, tất cả các phần tử của dây đều đứng yên ở vị trí I.

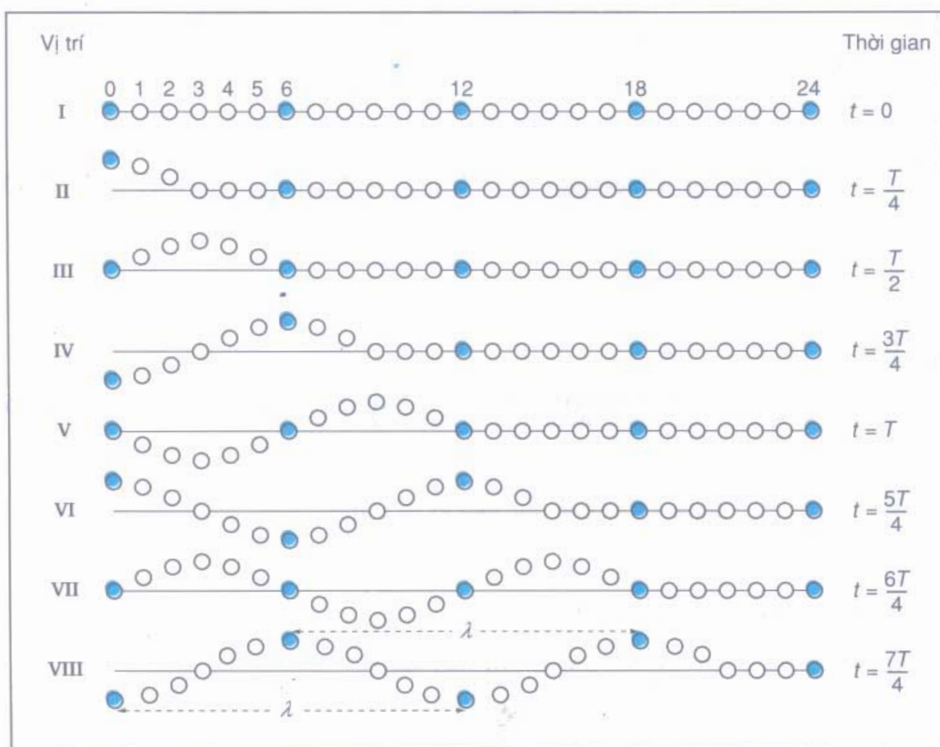
– Trong khoảng thời gian $t = \frac{T}{4}$, phần tử 0 chuyển động từ vị trí cân bằng lên vị trí cao nhất. Trong khi đó, lực liên kết đàn hồi kéo phần tử 1

C2 Hãy chỉ ra vị trí và hướng chuyển động của phần tử số 6 và số 12 của dây trên Hình 14.3 ở các thời điểm $t = \frac{T}{2}$, $\frac{3T}{4}$, T, $\frac{5T}{4}$.

chuyển động theo, nhưng chuyển động sau một chút. Cũng như thế, chuyển động được truyền đến phần tử 2, sau phần tử 1 một chút. Dây có vị trí II.

– Phần tử 0 tiếp tục thực hiện dao động và dao động này lần lượt được truyền cho các phần tử tiếp theo của dây. Các phần tử này thực hiện dao động cùng tần số, cùng biên độ với phần tử 0 nhưng trễ pha hơn.

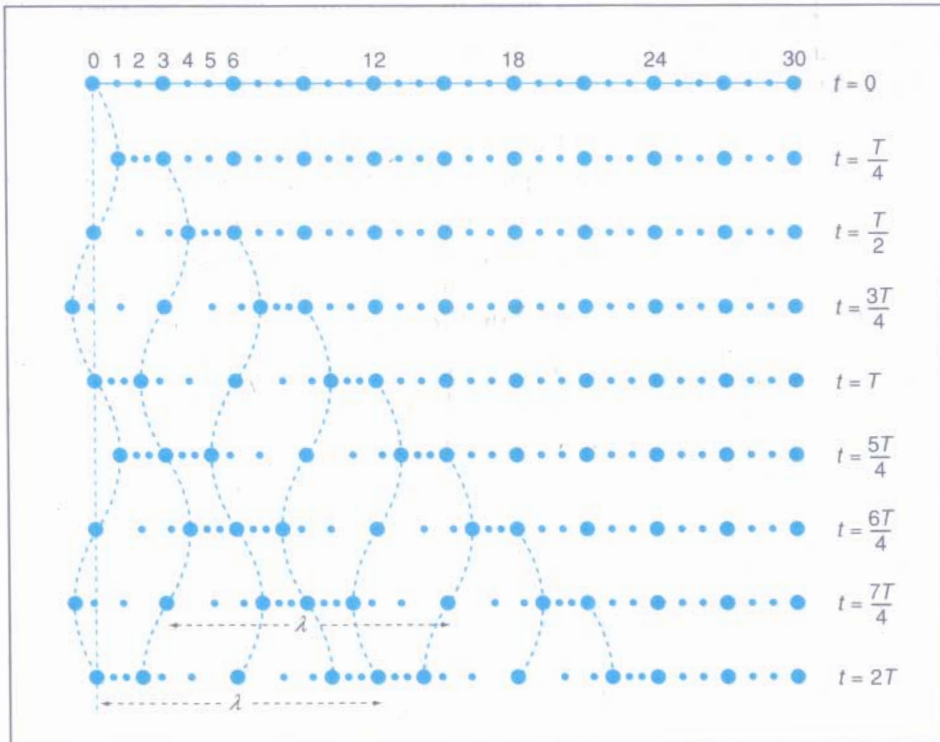
Sóng cơ được tạo thành nhờ lực liên kết đàn hồi giữa các phần tử của môi trường truyền dao động. Phần tử càng ở xa tâm, dao động càng trễ pha hơn.



Hình 14.3 Mô hình biểu diễn vị trí của các phần tử của sóng ngang ở những thời điểm liên tiếp.

Môi trường nào có lực đàn hồi xuất hiện khi bị biến dạng lệch thì truyền sóng ngang. Sóng ngang chỉ truyền trong chất rắn (như sợi dây đàn hồi, tấm kim loại mỏng,...). Sóng trên mặt chất lỏng là một trường hợp đặc biệt. Hợp lực của lực căng bề mặt và

trọng lực có tác dụng giống như lực đàn hồi. Do đó, sóng trên mặt chất lỏng là sóng ngang. Nếu lực đàn hồi xuất hiện khi có biến dạng nén, dãn thì môi trường truyền sóng dọc. Sóng dọc truyền cả trong môi trường rắn, lỏng, khí. Hình 14.4 biểu diễn vị trí các phần tử của một lò xo khi có sóng dọc ở những thời điểm khác nhau. Sóng cơ không truyền được trong chân không.



Hình 14.4 *Mô hình biểu diễn vị trí các phần tử của sóng dọc ở những thời điểm khác nhau.*

2. Những đại lượng đặc trưng của chuyển động sóng

a) Chu kì, tần số sóng

Tất cả các phần tử của môi trường đều dao động với cùng chu kì và tần số bằng chu kì, tần số của nguồn dao động gọi là chu kì và tần số của sóng.

b) Biên độ sóng

Biên độ sóng tại mỗi điểm trong không gian chính là

C3 Hãy chỉ ra vị trí và hướng chuyển động của phần tử số 6 và số 12 của lò xo trên Hình 14.4 ở các thời điểm $t = \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T, \frac{5T}{4}$.

C4 Hãy chỉ ra một số nguyên nhân làm cho biên độ sóng giảm khi ra xa tâm dao động.

biên độ dao động của phần tử môi trường tại điểm đó.

Trong thực tế, càng ra xa tâm dao động thì biên độ sóng càng nhỏ.

c) Bước sóng

C5 Hãy chỉ ra trên Hình 14.3 và 14.4 những phần tử dao động cùng pha và so sánh khoảng cách giữa từng cặp hai phần tử gần nhau nhất dao động cùng pha.

Trên Hình 14.3 và 14.4, ta thấy sau một khoảng thời gian $t = T$ dao động đã truyền được từ phần tử 0 đến phần tử 12. *Quãng đường mà sóng truyền đi được trong một chu kì dao động gọi là một bước sóng*. Ta kí hiệu bước sóng bằng chữ λ *(lamđa)*.

Chú ý rằng, phần tử 0 và phần tử 12 dao động cùng pha. Vậy có thể nói, *bước sóng là khoảng cách giữa hai phần tử sóng gần nhau nhất trên phương truyền sóng dao động cùng pha*.

d) Tốc độ truyền sóng

Ta biết rằng, khi phần tử 0 bắt đầu dao động thì nó kéo theo những phần tử 1, 2, 3,... dao động nhưng trễ pha hơn. Sau đúng một chu kì dao động thì phần tử 12 bắt đầu dao động và dao động cùng pha với phần tử 0. Vậy trong một chu kì, pha của dao động đã truyền đi được một đoạn đường bằng một bước sóng. Do đó có thể nói, tốc độ truyền sóng chính là *tốc độ truyền pha dao động*.

Trong thời gian bằng một chu kì, sóng truyền đi được một khoảng bằng một bước sóng λ. Vậy tốc độ truyền sóng là :

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$

Trong khi sóng truyền đi, các đỉnh sóng (hay các vùng nén dãn) di chuyển nhưng các phần tử của môi trường vẫn dao động quanh vị trí cân bằng của chúng.

e) Năng lượng sóng

Hiện nay người ta biết có nhiều loại sóng như sóng âm, sóng vô tuyến, sóng ánh sáng, sóng Đơ-Brơi,... Các loại sóng đó có bản chất rất khác nhau, nhưng đều là dao động được truyền đi, đều tuân theo những quy luật biến đổi như nhau. Vì thế nhiều kết quả nghiên cứu về sóng cơ có thể áp dụng để nghiên cứu các loại sóng khác.

Ta đã biết một chất điểm dao động điều hoà có cơ năng tỉ lệ với bình phương biên độ dao động. Sóng truyền dao động cho các phần tử của môi trường, nghĩa là truyền cho chúng năng lượng. Quá trình truyền sóng là quá trình truyền năng lượng.

3. Phương trình sóng

Dựa vào phương trình sóng, ta còn có thể tìm ra tốc độ, gia tốc, pha của mỗi phần tử của môi trường ở một thời điểm hay một vị trí cho trước.

Để khảo sát định lượng chuyển động sóng, ta cần lập một phương trình xác định li độ u của mỗi phần tử của môi trường tại điểm có toạ độ x vào một thời điểm t bất kì. Phương trình đó gọi là *phương trình sóng*.

a) Lập phương trình

Xét trường hợp sóng ngang truyền dọc theo một đường thẳng Ox. Bỏ qua lực cản, như vậy biên độ dao động tại mọi điểm của sóng là như nhau. Lấy đường truyền sóng làm trục x (Hình 14.5), chiều dương của trục là chiều truyền sóng. Chọn gốc toạ độ O là điểm sóng đi qua lúc bắt đầu quan sát (thời điểm $t = 0$).



Hình 14.5 Đường biểu diễn sự biến thiên của li độ u theo toạ độ x của một sóng tại một thời điểm.

Phần tử của sóng ở O dao động theo phương vuông góc với trục Ox có li độ được kí hiệu bằng chữ u.

Giả sử dao động của phần tử của sóng ở O là điều hoà, li độ u biến thiên theo hàm số côsin của thời gian :

$$u_O(t) = A\cos\omega t = A\cos\frac{2\pi}{T}t \quad (14.1)$$

trong đó *ω là tần số góc của sóng :*

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Sóng cần một thời gian là $\frac{x}{v}$ để truyền từ O đến M, $\overline{OM} = x$, v là tốc độ truyền sóng. Như vậy, li độ dao động u_M tại điểm M vào thời điểm t sẽ bằng li độ u_O tại điểm O vào thời điểm $t - \frac{x}{v}$. Ta có :

$$u_M(t) = u(x, t) = u_O\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

$$u_M(t) = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right] \quad (14.2)$$

Thay $\omega = \frac{2\pi}{T}$ và $v = \frac{\lambda}{T}$ vào (14.2), ta có :

$$u_M(t) = A\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right] \quad (14.3)$$

Công thức (14.2) và dạng tương đương (14.3) cho phép ta xác định được li độ u của phần tử sóng tại một điểm M bất kì trên đường truyền sóng, gọi là phương trình sóng.

Nếu dao động của nguồn sóng có dạng :

$$u = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$$

với φ_0 là pha ban đầu, thì phương trình sóng có dạng :

$$u_M(t) = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x + \varphi_0\right)$$

Nếu sóng truyền theo chiều ngược lại từ M đến O thì phương trình sóng có dạng :

$$u_M(t) = A\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right)\right]$$

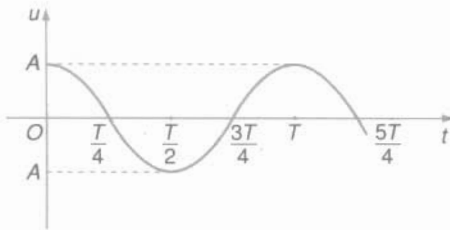
b) Một số tính chất của sóng suy ra từ phương trình sóng

• *Tính tuần hoàn theo thời gian*

Xét một phần tử sóng tại điểm P trên đường truyền sóng có toạ độ $x = d$. Thay giá trị $x = d$ vào phương trình (14.3), ta có :

$$u_P = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi d}{\lambda}\right) \quad (14.4)$$

Như vậy, chuyển động của phần tử sóng tại P là một dao động tuần hoàn theo thời gian với chu kì T.



Hình 14.6 Đồ thị biến thiên của li độ u của một phần tử trên đường truyền sóng theo thời gian.

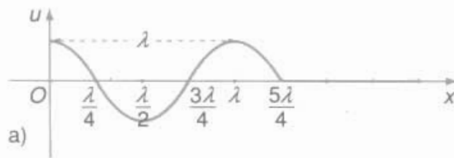
Có thể biểu diễn sự biến thiên của u_P theo thời gian trên đồ thị như Hình 14.6.

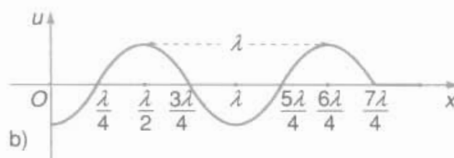
• *Tính tuần hoàn theo không gian*

Xét vị trí của tất cả các phần tử sóng tại một thời điểm xác định t_0. Theo công thức (14.3), ta có :

$$u(x, t_0) = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t_0 - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \quad (14.5)$$

Như vậy, li độ u biến thiên tuần hoàn theo toạ độ x, nghĩa là cứ sau mỗi khoảng có độ dài bằng một bước sóng, sóng lại có hình dạng lặp lại như cũ. Hình 14.7 cho ta hình dạng của sóng ở một thời điểm xác định, đó là dạng sin. Ta gọi đó là *sóng dạng sin*. Dưới đây, ta chỉ xét những sóng có dạng sin.





Hình 14.7 Hình dạng thật của sợi dây khi sóng truyền trên sợi dây ở các thời điểm :

a) $t = \frac{5T}{4}$

b) $t = T + \frac{3T}{4}$

tính từ lúc bắt đầu truyền dao động cho một đầu dây.

Trong các bài sau, dựa vào phương trình sóng ta còn có thể giải thích hay dự đoán một số hiện tượng khác trong thực tế do các sóng gây nên.

c) Ví dụ

Cho một sợi dây cao su căng ngang. Làm cho đầu C của dây dao động theo phương thẳng đứng với biên độ 2 cm và chu kì 1,6 s.

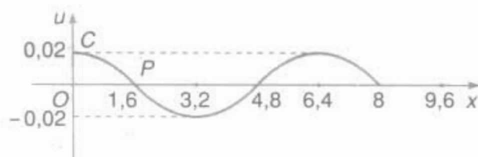
Lúc $t = 0$, C có li độ cực đại. Sau 0,3 s thì dao động truyền đi được 1,2 m dọc theo dây.

a) Tìm bước sóng.

b) Viết phương trình dao động của một phần tử P ở cách đầu dây một đoạn là 1,6 m. Chọn gốc thời gian là lúc bắt đầu truyền dao động cho C từ vị trí có li độ cực đại.

c) Xác định li độ của P ở thời điểm $t = 3,2$ s.

d) Vẽ trên đồ thị (u, x) vị trí của P lúc đó.



Hình 14.8 Vị trí của phần tử P ở thời điểm t = 3,2 s.

Bài giải cho ví dụ :

a) Tốc độ truyền sóng

$$\upsilon = \frac{\Delta l}{t} = \frac{1,2}{0,3} = 4 \text{ m/s}$$

Bước sóng :

$$\lambda = \upsilon T = 4.1,6 = 6,4 \text{ m}$$

b) Phương trình sóng có dạng

$$u = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

Ta đã biết : $A = 2$ cm $= 0,02$ m ;

$T = 1,6$ s ; $\lambda = 6,4$ m ; $x_P = 1,6$ m.

Phương trình dao động của phần tử P có toạ độ $x = 1,6$ m là :

$$u = 0,02\cos\left(\frac{2\pi t}{1,6} - \frac{\pi}{2}\right) \text{(m)}$$

c) Ở thời điểm $t = 3,2$ s, phần tử P có li độ là :

$$u_P = 0,02\cos\left(\frac{2\pi.3,2}{1,6} - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= 0,02\cos\frac{\pi}{2} = 0 \text{ (m)}$$

d) Lúc $t = 3,2$ s, phương trình sóng có dạng :

$$u = 0,02\cos\frac{2\pi x}{6,4}$$

Đồ thị u theo x có dạng như Hình 14.8.

CÂU HỎI

1. Dùng hình vẽ để giải thích sóng cơ được tạo ra như thế nào ?
2. Sóng dọc và sóng ngang khác nhau ở chỗ nào ?
3. Hãy dùng phương trình sóng để suy ra sóng có tính tuần hoàn theo thời gian và tuần hoàn theo không gian.



BÀI TẬP

1. Sóng cơ là

A. sự truyền chuyển động cơ trong không khí.

B. những dao động cơ lan truyền trong môi trường.

C. chuyển động tương đối của vật này so với vật khác.

D. sự co dãn tuần hoàn giữa các phần tử của môi trường.

2. Bước sóng là

A. quãng đường mà mỗi phần tử của môi trường đi được trong 1 giây.

B. khoảng cách giữa hai phần tử của sóng dao động ngược pha.

C. khoảng cách giữa hai phần tử sóng gần nhất trên phương truyền sóng dao động cùng pha.

D. khoảng cách giữa hai vị trí xa nhau nhất của mỗi phần tử của sóng.

3. Một sóng có tần số 1 000 Hz truyền đi với tốc độ 330 m/s thì bước sóng của nó có giá trị nào sau đây ?

A. 330 000 m. B. 3 m^{-1}.

C. 0,33 m/s. D. 0,33 m.

4. Một sóng ngang truyền trên một dây rất dài có phương trình :

$$u = 6\cos(4\pi t + 0{,}02\pi x)$$

trong đó x và u được tính bằng xentimét (cm) và t được tính bằng giây (s). Hãy xác định :

a) Biên độ ; b) Bước sóng ;

c) Tần số ; d) Tốc độ ;

e) Độ dời u tại x = 16,6 cm, lúc t = 4 s.

15 PHẢN XẠ SÓNG SÓNG DỪNG

1. Sự phản xạ sóng

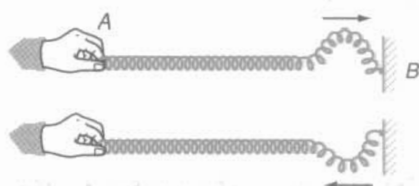
Ta quan sát trường hợp đơn giản sóng truyền trên một lò xo đàn hồi, có một đầu buộc vào điểm cố định (Hình 15.1).

a) Ta cầm đầu *A* của lò xo đưa lên đưa xuống gây ra một biến dạng trên lò xo. Quan sát sự truyền biến dạng này dọc theo lò xo trước khi đến đầu cố định và sau khi gặp đầu cố định.

Biến dạng khi gặp đầu cố định của lò xo thì truyền ngược lại. Ta nói là biến dạng bị phản xạ. Khi phản xạ thì biến dạng bị đổi chiều.

b) Nếu cho đầu *A* của lò xo thực hiện một dao động điều hoà theo phương vuông góc với lò xo thì xuất hiện một sóng truyền đến *B* gọi là *sóng tới*. Sau đó, dao động được truyền ngược lại tạo thành *sóng phản xạ*.

Thực nghiệm chứng tỏ, sóng phản xạ có cùng tần số và cùng bước sóng với sóng tới. Nếu đầu phản xạ cố định thì sóng phản xạ ngược pha với sóng tới.



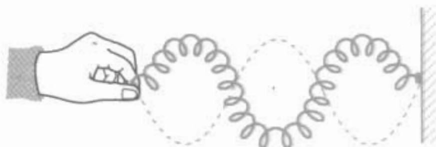
Hình 15.1 Biến dạng phản xạ trên lò xo đàn hồi một đầu cố định bị đổi chiều.

C1 So sánh chiều biến dạng của lò xo, chiều chuyển động của sóng trước và sau khi gặp đầu cố định.

2. Sóng dừng

a) Quan sát hiện tượng

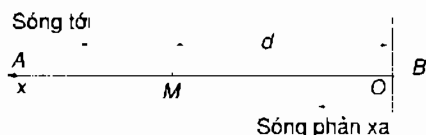
Tăng dần tần số dao động của đầu *A* của lò xo, đến một lúc ta không còn phân biệt được sóng tới và sóng phản xạ nữa. Lúc đó trên lò xo xuất hiện những điểm đứng yên xen kẽ với những điểm dao động với biên độ khá lớn, lớn hơn cả biên độ dao động của *A* (Hình 15.2). Đó



Hình 15.2 Sóng dừng trên lò xo.

C2 Quan sát thí nghiệm và so sánh khoảng cách giữa hai điểm nút gần nhau nhất và hai điểm bụng gần nhau nhất.

là hiện tượng *sóng dừng*. Những điểm đứng yên trên lò xo gọi là những *điểm nút*, những điểm dao động với biên độ cực đại gọi là những *điểm bụng*. Những nút và bụng xen kẽ, cách đều nhau.



Hình 15.3

b) Giải thích sự tạo thành sóng dừng trên dây

Xét dao động của một phần tử tại điểm M trên dây cách đầu cố định B một khoảng $MB = d$ (Hình 15.3). Giả sử vào thời điểm bắt đầu quan sát, sóng tới đến B và truyền tới đó một dao động có phương trình dao động là :

$$u_B = A\cos 2\pi ft. \qquad (15.1)$$

Chọn gốc toạ độ O tại B, chiều dương của trục Ox là chiều từ B đến M.

Sóng tới truyền từ M đến B ngược chiều với chiều dương của trục Ox và B cách M một khoảng d, nên ở M có phương trình dao động là :

$$u_M = A\cos\left(2\pi ft + \frac{2\pi d}{\lambda}\right)$$

C3 Nếu phần tử tại điểm M đồng thời nhận được hai dao động điều hoà cùng phương, cùng tần số, có độ dời u_1 và u_2 thì chuyển động của phần tử tại M sẽ như thế nào ?

C4 Biên độ dao động tổng hợp của phần tử tại điểm M sẽ có giá trị như thế nào trong các trường hợp :

a) Hai dao động thành phần cùng pha ?

b) Hai dao động thành phần ngược pha ?

Sóng phản xạ ở B có li độ ngược chiều với li độ của sóng tới. Do đó phương trình của sóng phản xạ ở B là :

$$u'_B = -A\cos 2\pi ft$$

$$= A\cos(2\pi ft - \pi)$$

Sóng phản xạ truyền theo chiều dương của trục Ox một quãng đường bằng d để trở lại M. Phương trình sóng phản xạ tại M là :

$$u'_M = A\cos\left(2\pi ft - \pi - \frac{2\pi d}{\lambda}\right)$$

$$u'_M = A\cos\left(2\pi ft - \frac{2\pi d}{\lambda} - \pi\right) \qquad (15.2)$$

Như vậy, khi sóng tới và sóng phản xạ liên tục truyền qua M thì ở mỗi thời điểm, M đồng thời nhận được hai dao động cùng phương. Do đó, dao động tại M sẽ là tổng hợp hai dao động do sóng tới và sóng phản xạ truyền đến. Ta có :

$$u = u_M + u'_M$$

$$u = A\cos\left(2\pi ft + \frac{2\pi d}{\lambda}\right) + A\cos\left(2\pi ft - \frac{2\pi d}{\lambda} - \pi\right)$$

Áp dụng công thức lượng giác

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha - \beta}{2}\cos\frac{\alpha + \beta}{2}$$

ta được :

$$u = 2A\cos\left(\frac{2\pi d}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)\cos\left(2\pi ft - \frac{\pi}{2}\right) \quad (15.3)$$

Công thức (15.3) cho thấy, phần tử tại điểm M dao động điều hoà với tần số f và biên độ dao động là :

$$a = \left|2A\cos\left(\frac{2\pi d}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)\right| \quad (15.4)$$

Biên độ này phụ thuộc vào khoảng cách $d = MB$ từ điểm M đến đầu cố định của dây.

Nếu khoảng cách d bằng một số nguyên lần nửa bước sóng $\left(d = k\frac{\lambda}{2}\right)$ thì theo (15.4) biên độ dao động tại M bằng 0, và tại M có một nút (Hình 15.4).

Nếu khoảng cách $d = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}$ thì biên độ dao động có giá trị cực đại, tại đó có một bụng (điểm M').

Cho k các giá trị lần lượt bằng 0, 1, 2, 3,..., ta có các nút và bụng xen kẽ cách đều nhau. Khoảng cách giữa hai nút liên tiếp hay hai bụng liên tiếp bằng nửa bước sóng.

Những dự đoán lí thuyết về hiện tượng sóng dừng dựa vào phương trình sóng ở trên phù hợp với hiện tượng quan sát được trong thí nghiệm. Điều đó chứng tỏ phương trình sóng phản ánh đúng chuyển động của sóng.

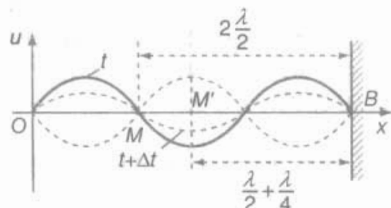
c) Điều kiện để có sóng dừng

• *Đối với sợi dây có hai đầu cố định hay một đầu dây cố định và một đầu dao động với biên độ nhỏ* thì khi có sóng dừng, hai đầu dây phải là hai nút. Khoảng cách giữa hai nút liên tiếp là một nửa bước sóng. Vậy độ dài của dây bằng một số nguyên lần nửa bước sóng (Hình 15.5).

$$l = n\frac{\lambda}{2} \quad \text{với } n = 1, 2,... \quad (15.5)$$

n bằng số bụng quan sát được.

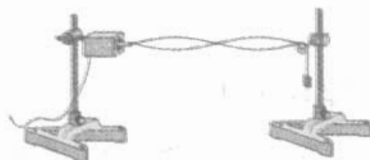
Theo công thức (15.4) thì biên độ dao động ở chỗ bụng sóng có giá trị lớn nhất là $2A$. Thực tế thì biên độ này lớn hơn $2A$ nhiều lần. Nguyên nhân vì sóng phản xạ nhiều lần ở hai đầu dây, nên khi chúng đồng pha sẽ tăng cường lẫn nhau, làm cho biên độ tăng lên nhiều lần.



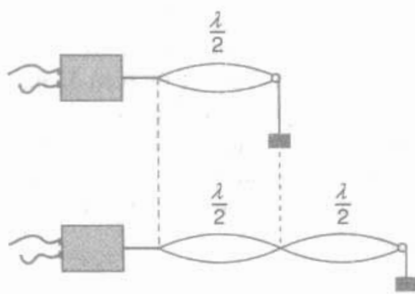
Hình 15.4 Hình dạng sóng dừng ở những thời điểm khác nhau.

Ở mỗi thời điểm t bất kì, dây có dạng hình sin (đường liền nét ở Hình 15.4). Những điểm nút là giao điểm của đường côsin với trục Ox. Những điểm bụng có li độ cực đại (dương hoặc âm). Ở thời điểm $t + \Delta t$ thì dạng của hình sin thay đổi (đường chấm chấm ở Hình 15.4) ; những điểm nút và bụng vẫn không đổi, chỉ có các giá trị của các cực đại là thay đổi.

Nếu dùng một máy rung làm cho đầu A dao động với tần số $f > 24$ Hz thì ta sẽ nhìn thấy dây có dạng như Hình 15.5. Ở chỗ bụng hình như dây bị phồng to ra. Đó là do kết quả của hiện tượng lưu ảnh của mắt.

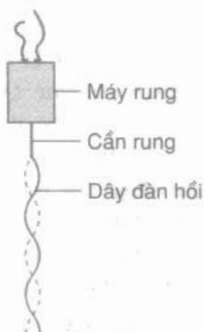


Hình 15.5 Hình dạng sóng dừng trên dây mà mắt nhìn thấy khi f > 24 Hz.



Hình 15.6 Sóng dừng trên dây một đầu dao động với biên độ nhỏ, một đầu cố định.

Vì đầu dây nối với đầu cần rung dao động với biên độ nhỏ, nên có thể coi đó là một nút. Nếu biên độ dao động của đầu cần rung khá lớn khiến mắt ta nhìn thấy được thì nút sóng sẽ ở gần đầu cần rung.



Hình 15.7 Sóng dừng trên dây có một đầu tự do, một đầu dao động với biên độ nhỏ.

• *Đối với sợi dây có một đầu tự do* thì lí thuyết và thực nghiệm chứng tỏ rằng, đầu tự do sẽ là một bụng sóng, khoảng cách giữa một nút và một bụng liền kề là $\frac{\lambda}{4}$. Do đó, muốn có sóng dừng thì dây phải có độ dài bằng một số lẻ lần một phần tư bước sóng (Hình15.7).

$$l = m\frac{\lambda}{4} \text{ với } m = 1, 3, 5,... \quad (15.6)$$

d) Ứng dụng

Có thể ứng dụng hiện tượng sóng dừng để xác định tốc độ truyền sóng trên dây.

Ví dụ :

Trong một thí nghiệm, người ta dùng máy rung với tần số $f = 50$ Hz để truyền dao động cho một đầu của sợi dây đàn hồi có độ dài 60 cm, đầu kia của dây được giữ cố định. Người ta quan sát thấy sóng dừng trên dây và đếm được 4 bụng.

Tính bước sóng trên dây và tốc độ truyền sóng.

Bài giải :

Dây có hai đầu cố định vậy khi có sóng dừng, độ dài của dây bằng một số nguyên lần nửa bước sóng. Theo công thức (15.5) :

$$l = n\frac{\lambda}{2}$$

với n là số bụng.

Vậy :

$$\lambda = \frac{2l}{n} = \frac{2.60}{4} = 30 \text{ cm}$$

Tốc độ truyền sóng là : $v = f\lambda = 50.30 = 1\,500$ cm/s.

? CÂU HỎI

1. Hãy vận dụng phương trình sóng để giải thích hiện tượng sóng dừng trên dây đàn hồi hai đầu cố định.

2. Phát biểu điều kiện để có sóng dừng trên một sợi dây đàn hồi trong hai trường hợp :

   a) Dây có một đầu cố định, một đầu tự do.

   b) Dây có hai đầu cố định.

BÀI TẬP

1. Ta quan sát thấy hiện tượng gì khi trên một sợi dây có sóng dừng ?

   A. Tất cả các phần tử của dây đều đứng yên.

   B. Trên dây có những bụng sóng xen kẽ với nút sóng.

   C. Tất cả các phần tử trên dây đều dao động với biên độ cực đại.

   D. Tất cả các phần tử trên dây đều chuyển động với cùng vận tốc.

2. Sóng truyền trên một sợi dây hai đầu cố định có bước sóng λ. Muốn có sóng dừng trên dây thì độ dài l của dây phải có giá trị nào dưới đây ?

   A. $l = \frac{\lambda}{4}$.   B. $l = \frac{\lambda}{2}$.

   C. $l = \frac{2}{3}\lambda$.   D. $l = \lambda^2$.

3. Trên một sợi dây dài 40 cm có sóng dừng, người ta quan sát thấy có 4 bụng sóng. Tần số dao động là 400 Hz. Tìm tốc độ truyền sóng trên dây.

4. Một dây có một đầu bị kẹp chặt, đầu kia buộc vào một nhánh của một âm thoa có tần số 600 Hz. Âm thoa dao động tạo ra một sóng dừng trên dây có 4 bụng. Tốc độ sóng trên dây là 400 m/s. Tìm :

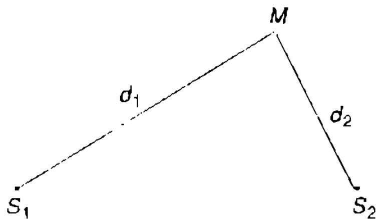
   a) Bước sóng.

   b) Độ dài của dây.

16 GIAO THOA SÓNG

Trong bài nay, ta sẽ khảo sát một hiện tương đặc trưng khác của sóng, đó là hiện tượng giao thoa sóng.

C1 Dựa trên việc quan sát hiện tượng sóng dừng trên dây, ta có thể xác định được những đặc điểm gì của sóng ?



Hình 16.1 Đường truyền của hai sóng từ hai nguồn dao động S_1 và S_2 đến M.

Trong thí nghiệm ở Hình 16.3, dao động điều hoà của đầu cần rung được truyền đến hai quả cầu nhỏ luôn chạm vào mặt nước. Hai quả cầu là hai nguồn dao động cùng tần số, tạo ra hai sóng cùng tần số, cùng bước sóng lan truyền trên mặt nước.

1. Sự giao thoa của hai sóng mặt nước

a) Dự đoán hiện tượng

Ta xét xem có hiện tượng gì xảy ra khi có sự giao nhau giữa hai sóng nước xuất phát từ hai nguồn dao động. Để cho đơn giản, ta xét trường hợp hai nguồn dao động S_1 và S_2 có cùng tần số, cùng pha. Như vậy hai sóng tạo thành cũng sẽ có cùng bước sóng.

Xét một điểm M trên mặt nước cách S_1 một đoạn $S_1M = d_1$ và cách S_2 một đoạn $S_2M = d_2$.

Các nguồn S_1 và S_2 dao động theo phương trình :

$$u_1 = u_2 = A\cos\omega t = A\cos\frac{2\pi}{T}t$$

Giả thiết rằng, biên độ dao động bằng nhau và không thay đổi trong quá trình truyền sóng, thì theo công thức (15.4), dao động u_1 truyền đến M sẽ có phương trình :

$$u_{1M} = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{d_1}{\lambda}\right)$$

u_2 truyền đến M sẽ có phương trình :

$$u_{2M} = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{d_2}{\lambda}\right)$$

Tại M hai dao động có độ lệch pha là :

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi\left(\frac{d_2}{\lambda} - \frac{d_1}{\lambda}\right)$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) \qquad (16.1)$$

Dao động tại M là tổng hợp hai dao động từ S_1 và S_2 truyền đến :

$$u_M = u_{1M} + u_{2M}$$

Biên độ dao động tại M phụ thuộc vào độ lệch pha giữa hai dao động và có giá trị là :

$$A_M^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi$$

$$= 2A^2 + 2A^2\cos\Delta\varphi$$

$$A_M^2 = 2A^2(1 + \cos\Delta\varphi)$$

$$A_M = 2A\left|\cos\frac{\Delta\varphi}{2}\right| \qquad (16.2)$$

• Nếu hai dao động cùng pha $\Delta\varphi = 2k\pi$ thì biên độ dao động cực đại, bằng tổng hai biên độ của dao động thành phần. Ta có :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = 2k\pi$$

với $k = 0, \pm1, \pm2,...$

Suy ra : $$d_2 - d_1 = k\lambda \qquad (16.3)$$

Như vậy, ở những điểm mà hiệu số đường đi bằng một số nguyên lần bước sóng thì dao động tổng hợp có biên độ cực đại.

• Nếu hai dao động ngược pha : $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$ thì biên độ dao động cực tiểu, bằng hiệu hai biên độ của hai dao động thành phần. Ta có :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = (2k + 1)\pi$$

với $k = 0, \pm1, \pm2,...$

$$d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad (16.4)$$

C2 Một phần tử tại điểm M trên mặt nước sẽ dao động thế nào nếu cùng một lúc :

a) Gợn lồi gặp gợn lồi ?

b) Gợn lõm gặp gợn lõm ?

c) Gợn lồi gặp gợn lõm ?

Có thể tính dao động tổng hợp tại một điểm M bằng cách dùng công thức lượng giác, tương tự như đã làm với sóng dừng.

Giả sử như có hai sóng xuất phát từ hai nguồn S_1 và S_2 truyền tới M (Hình 16.1) có phương trình là :

$$u_1 = A\cos 2\pi\left(ft - \frac{d_1}{\lambda}\right)$$

$$u_2 = A\cos 2\pi\left(ft - \frac{d_2}{\lambda}\right)$$

dao động tổng hợp ở M có công thức :

$$u = u_1 + u_2$$

$$= A\cos 2\pi\left(ft - \frac{d_1}{\lambda}\right) + A\cos 2\pi\left(ft - \frac{d_2}{\lambda}\right)$$

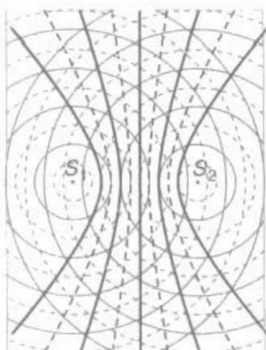
Biến đổi tổng côsin thành tích, ta được :

$$u = 2A\cos\frac{\pi(d_2 - d_1)}{\lambda}\cos 2\pi\left(ft - \frac{d_1 + d_2}{2\lambda}\right)$$

$$u = A_M \cos 2\pi\left(ft - \frac{d_1 + d_2}{2\lambda}\right)$$

với $A_M = \left|2A\cos\frac{\pi(d_2 - d_1)}{\lambda}\right|$ (16.5)

hay $A_M = 2A\left|\cos\frac{\Delta\varphi}{2}\right|$.



Hình 16.2 Hình ảnh vân giao thoa khi hai sóng mặt nước giao nhau.

Trên Hình 16.2, các vòng tròn liền nét biểu diễn các gợn lồi (đỉnh sóng), các vòng tròn đứt nét biểu diễn các gợn lõm (hõm sóng). Chỗ gợn lồi gặp gợn lồi hoặc gợn lõm gặp gợn lõm là những điểm dao động với biên độ cực đại. Còn những điểm ở đó gợn lồi gặp gợn lõm thì dao động có biên độ cực tiểu. Khi hai sóng lan truyền thì các điểm có biên độ cực đại nằm trên những đường hypebol liền nét, còn những điểm có biên độ cực tiểu thì nằm trên những đường hypebol đứt nét.

Ở những điểm mà hiệu số đường đi là một số bán nguyên lần bước sóng thì biên độ dao động tổng hợp cực tiểu.

Bây giờ ta xét xem các điểm ở đó có biên độ cực đại phân bố như thế nào trên mặt nước. Theo (16.3), nếu lấy $k = 1$, ta có :

$$d_2 - d_1 = S_2M - S_1M = \lambda = \text{hằng số}$$

Toán học cho biết, quỹ tích của những điểm M mà hiệu số khoảng cách từ M đến hai điểm cố định S_1, S_2 cho trước bằng một hằng số là một đường hypebol liền nét (Hình 16.2).

Vậy đường nối liền những điểm tại đó phần tử sóng dao động với biên độ cực đại ứng với $k = 1$ là một đường hypebol.

Cũng như thế, đường nối những điểm tại đó phần tử sóng dao động với biên độ cực tiểu ứng với $d_2 - d_1 = \frac{3}{2}\lambda$ cũng là một đường hypebol đứt nét.

Lần lượt cho k những giá trị ±1, ±2, ±3... vào các công thức (16.3) và (16.4), ta sẽ xác định được một họ đường hypebol của những điểm có dao động với biên độ cực đại xen kẽ với họ các đường hypebol của những điểm có dao động với biên độ cực tiểu. Những cực đại ứng với $k = 0$ nằm trên đường thẳng là đường trung trực của S_1S_2.

b) Thí nghiệm kiểm tra

Bố trí thí nghiệm như Hình 16.3.

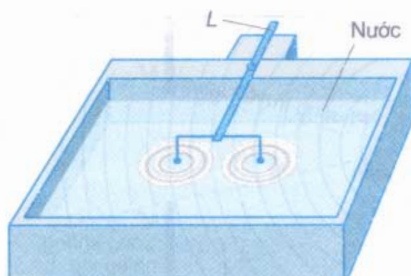
Dùng một thanh thép đàn hồi L giữ một đầu cố định. Ta gắn vào đầu kia của thanh thép một đoạn dây kim loại cứng hình chữ U, ở đầu hai nhánh chữ U có hai quả cầu nhỏ. Bố trí cho hai quả cầu chạm vào mặt nước trong khay. Bật nhẹ cho thanh thép dao động. Hai quả cầu dao động theo và truyền cho mặt nước hai dao động cùng tần số, cùng phương, cùng pha, cùng biên độ, tạo ra hai sóng cùng tần số, cùng bước sóng.

Quan sát mặt nước, ta thấy trên đó xuất hiện các đường hypebol (Hình 16.4) đúng như dự đoán.

Hai nguồn dao động có cùng tần số và có độ lệch

pha không đổi theo thời gian gọi là hai *nguồn kết hợp*. Hai sóng do hai nguồn kết hợp tạo ra gọi là hai *sóng kết hợp*.

Hiện tượng hai sóng kết hợp, khi gặp nhau tại những điểm xác định, luôn luôn hoặc tăng cường nhau, hoặc làm yếu nhau được gọi là hiện tượng giao thoa của sóng.



Hình 16.3 Thí nghiệm tạo giao thoa sóng mặt nước.

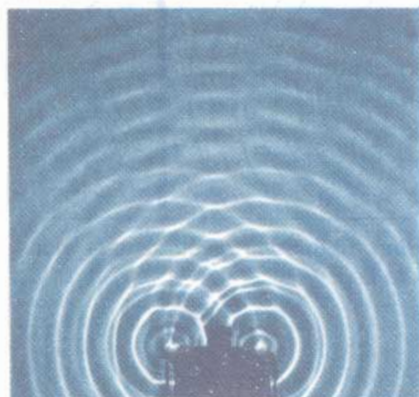
C3 Làm thí nghiệm và quan sát kĩ để chỉ ra đường nào là đường nối các điểm dao động với biên độ cực đại, đường nào là đường nối các điểm dao động với biên độ cực tiểu.

2. Điều kiện để có hiện tượng giao thoa

Trong phần trên, ta đã biết khi có hai sóng giao nhau xuất phát từ hai nguồn dao động cùng phương cùng tần số, có hiệu số pha $\Delta\varphi$ không đổi, thì xảy ra hiện tượng giao thoa. Khi đó xuất hiện những đường cong cố định trên mặt nước nối các điểm có biên độ dao động cực đại hoặc cực tiểu gọi là *vân giao thoa*.

Nếu $\Delta\varphi$ luôn biến đổi thì vị trí của các điểm có biên độ dao động với biên độ cực đại hay cực tiểu luôn thay đổi, và ta không quan sát được các vân giao thoa.

Vậy, điều kiện để có hiện tượng giao thoa là hai sóng phải xuất phát từ *hai nguồn dao động có cùng tần số, cùng phương dao động và có độ lệch pha không đổi theo thời gian.*



Hình 16.4 Ảnh chụp mặt nước nhìn từ trên xuống khi có giao thoa của hai sóng.

C4 Hình 16.4 là ảnh chụp mặt nước khi có giao thoa sóng. Vì sao ở đây các vân giao thoa không phải là những đường liền nét như khi nhìn trực tiếp bằng mắt thường ?

3. Ứng dụng

Giao thoa là hiện tượng rất đặc trưng của sóng. Giao thoa xảy ra ở mọi quá trình sóng có bản chất khác nhau. Nhiều khi vì những lí do khác nhau, ta không quan sát được quá trình sóng, nhưng nếu ta phát hiện ra hiện tượng giao thoa thì có thể kết



Hình 16.5 Sóng nhiễu xạ qua một khe rộng.



Hình 16.6 Sóng nhiễu xạ qua một khe hẹp.

luận quá trình đó là quá trình sóng. Nhận xét này sẽ được áp dụng để khảo sát sóng ánh sáng.

4. Sự nhiễu xạ của sóng

Dùng một cần rung dao động tạo ra một hệ thống sóng hình tròn trong một khay nước rộng (Hình 16.5). Đặt một màn chắn có một khe rộng chặn trên phương truyền sóng. Ta thấy sóng sau khi đi qua khe không đi theo đường thẳng *OM* nối nguồn với cạnh khe mà hơi lệch sang hai cạnh khe.

Càng thu hẹp khe thì hiện tượng sóng lệch khỏi phương truyền thẳng càng rõ. Nếu khe hở có kích thước nhỏ hơn bước sóng thì sau khi đi qua khe, sóng có dạng hình tròn giống như chính khe đó là một tâm phát sóng mới (Hình 16.6).

Nếu đặt một vật cản lớn trên đường truyền sóng thì sau khi đi qua vật cản hầu như sóng vẫn đi thẳng. Nếu vật cản nhỏ hơn bước sóng thì sóng sẽ đi vòng ra phía sau vật cản.

Hiện tượng sóng khi gặp vật cản thì đi lệch khỏi phương truyền thẳng của sóng và đi vòng qua vật cản gọi là hiện tượng nhiễu xạ của sóng.

Hiện tượng nhiễu xạ là một đặc tính cố hữu của sóng, giống như hiện tượng giao thoa sóng.

CÂU HỎI

1. Hãy giải thích hiện tượng tạo thành vân giao thoa trên mặt nước.
2. Giải thích vì sao hai sóng mặt nước xuất phát từ hai nguồn không kết hợp giao nhau lại không tạo thành vân giao thoa.



BÀI TẬP

1. Điều kiện để có giao thoa sóng là

A. hai sóng chuyển động ngược chiều giao nhau.

B. hai sóng cùng tần số và có độ lệch pha không đổi giao nhau.

C. hai sóng có cùng bước sóng giao nhau.

D. hai sóng có cùng biên độ, cùng tốc độ giao nhau.

2. Hai sóng kết hợp là

A. hai sóng chuyển động cùng chiều với cùng tốc độ.

B. hai sóng luôn đi kèm với nhau.

C. hai sóng có cùng tần số và có độ lệch pha không đổi theo thời gian.

D. hai sóng cùng bước sóng và có độ lệch pha biến thiên tuần hoàn.

3. Khi một sóng mặt nước gặp một khe chắn hẹp có kích thước nhỏ hơn bước sóng thì

A. sóng vẫn tiếp tục truyền thẳng qua khe.

B. sóng gặp khe bị phản xạ lại.

C. sóng truyền qua khe giống như khe là một tâm phát sóng mới.

D. sóng gặp khe sẽ dừng lại.

4. Trong một thí nghiệm tạo vân giao thoa của sóng mặt nước, người ta dùng hai nguồn dao động đồng pha có tần số 50 Hz và đo được khoảng cách giữa hai vân cực tiểu liên tiếp nằm trên đường nối liền hai tâm dao động là 2 mm. Tìm bước sóng và tốc độ truyền sóng.

17 SÓNG ÂM. NGUỒN NHẠC ÂM

C1 Có những yếu tố nào tham gia vào quá trình tạo ra một cảm giác về âm của ta ?

C2 Tại sao âm không thể truyền trong chân không ?

Tốc độ truyền âm phụ thuộc vào tính đàn hồi và khối lượng riêng của môi trường.

Nói chung, tốc độ truyền âm trong chất rắn lớn hơn trong chất lỏng, và trong chất lỏng lớn hơn trong chất khí.

Bảng 17.1

Tốc độ truyền âm trong một số chất

Chất	v (m/s)
Không khí ở 0°C	331
Không khí ở 25°C	346
Nước ở 15°C	1 500
Sắt	5 850
Nhôm	6 260

1. Nguồn gốc của âm và cảm giác về âm

Ở lớp 7, ta đã biết các vật phát ra âm thanh (gọi tắt là âm) đều dao động và ta gọi các vật đó là *nguồn âm*. Ví dụ như dây đàn được gảy, mặt trống bị gõ,... đều dao động và phát ra âm.

Vật dao động làm cho lớp không khí ở bên cạnh lần lượt bị nén rồi bị dãn. Không khí bị nén hay bị dãn thì làm xuất hiện lực đàn hồi khiến cho dao động đó được truyền cho các phần tử không khí ở xa hơn. Dao động được truyền đi trong không khí, tạo thành sóng gọi là *sóng âm*, có cùng tần số với nguồn âm.

Sóng âm truyền qua không khí, lọt vào tai ta, gặp màng nhĩ, tác dụng lên màng nhĩ một áp suất biến thiên, làm cho màng nhĩ dao động. Dao động của màng nhĩ lại được truyền đến đầu các dây thần kinh thính giác, làm cho ta có cảm giác về âm.

Như vậy, cảm giác về âm phụ thuộc vào nguồn âm và tai người nghe.

Sóng âm có thể truyền đi trong tất cả các môi trường chất (chất khí, chất rắn, chất lỏng) và không truyền được trong chân không. Về sau, khái niệm sóng âm đã được mở rộng cho các sóng cơ, bất kể tai người ta có nghe được hay không.

Bởi vậy, ***sóng âm là những sóng cơ truyền trong các môi trường khí, lỏng, rắn.***

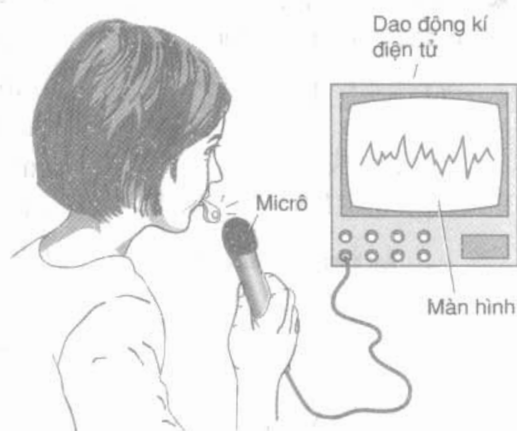
Trong chất khí và chất lỏng, sóng âm là sóng dọc vì trong các chất này lực đàn hồi chỉ xuất hiện khi có biến dạng nén, dãn.

Trong chất rắn, sóng âm gồm cả sóng ngang và sóng dọc, vì lực đàn hồi xuất hiện cả khi có biến dạng lệch và biến dạng nén, dãn.

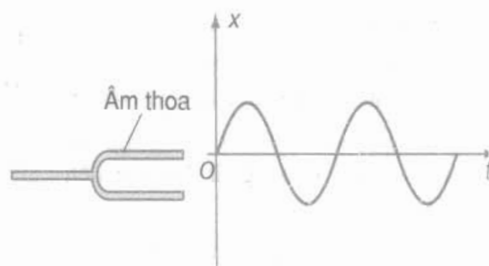
2. Phương pháp khảo sát thực nghiệm những tính chất của âm

Muốn cho dễ khảo sát bằng thực nghiệm, người ta chuyển dao động âm thành dao động điện.

Mắc hai đầu dây của micrô với chốt tín hiệu vào của dao động kí điện tử. Sóng âm đập vào màng micrô làm cho màng dao động, khiến cho cường độ dòng điện qua micrô biến đổi theo cùng quy luật với li độ của dao động âm. Trên màn hình của dao động kí sẽ xuất hiện một đường cong sáng biểu diễn sự biến đổi cường độ dòng điện theo thời gian. Căn cứ vào đó, ta biết được quy luật biến đổi của sóng âm truyền tới theo thời gian (Hình 17.1). Ví dụ, ta để một âm thoa đang dao động phát ra âm trước micrô, trên màn hình xuất hiện một đường cong dạng sin. Điều đó chứng tỏ dao động của âm thoa là một dao động điều hoà. Trục tung biểu diễn li độ của dao động, trục hoành biểu diễn thời gian (Hình 17.2).



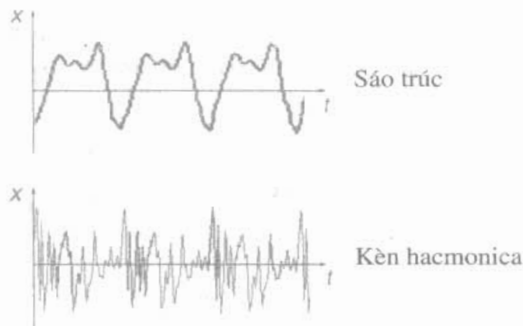
Hình 17.1. Dùng dao động kí điện tử để khảo sát dao động âm.



Hình 17.2 Đồ thị dao động của âm do âm thoa phát ra.

3. Nhạc âm

Hình 17.3 cho ta đồ thị của dao động âm phát ra từ các nhạc cụ mà ta quan sát được trên màn hình của dao động kí điện tử. Ta nhận thấy âm do các nhạc cụ phát ra thì nghe êm ái, dễ chịu và đồ thị dao động của chúng có đặc điểm chung là những đường cong tuần hoàn có tần số xác định. Chúng được gọi là *nhạc âm*.

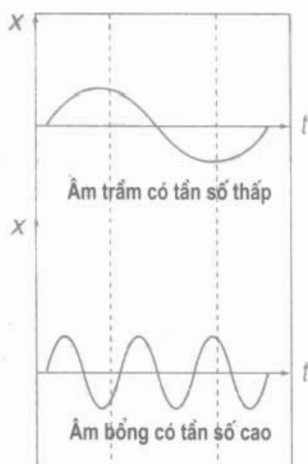


Hình 17.3 Đồ thị dao động của các âm phát ra từ sáo trúc, kèn hacmnica.

Ngoài ra còn có những âm không tuần hoàn thí dụ như tiếng búa đập vào tấm kim loại.

Sau đây chúng ta chỉ nghiên cứu những nhạc âm.

C3 Một dao động điều hoà có những đặc trưng vật lí nào ?



Hình 17.4 Đồ thị dao động của âm có tần số thấp và âm có tần số cao.

- Theo quy ước, âm la_3 có tần số 440 Hz.
- Tiếng nói con người thông thường có tần số trong khoảng từ 200 Hz đến 1000 Hz.
- Một số loài vật có thể phát ra và cảm nhận được sóng siêu âm như dơi, dế. Cá voi có thể cảm nhận được các hạ âm,...
- Người ta đã chế tạo được các máy có thể phát và thu được sóng siêu âm và sóng hạ âm.

Chú ý rằng, ta có thể hát lên bài hát rất khẽ, chỉ đủ để tự mình nghe thấy nhưng không giảm độ cao của các âm phát ra.

4. Những đặc trưng của âm

Khi sóng âm tác dụng vào tai ta thì mỗi đặc trưng vật lí của âm (tần số, cường độ âm, mức cường độ âm, đồ thị dao động) gây ra một loại cảm giác riêng, gọi là đặc trưng sinh lí của âm (độ cao, độ to, âm sắc). Những đặc trưng sinh lí của âm có liên quan chặt chẽ với những đặc trưng vật lí của âm.

a) Độ cao của âm

Ta đã biết trong âm nhạc, các nốt nhạc đồ, rê, mi, pha, son, la, si ứng với các âm có độ cao tăng dần. Ví dụ, âm ứng với nốt son thấp hơn âm ứng với nốt la.

Nếu đưa các tín hiệu âm này vào dao động kí điện tử thì ta thấy âm cao (còn gọi là âm bổng) có tần số lớn hơn âm thấp (còn gọi là âm trầm). Trên Hình 17.4 là đồ thị dao động của âm trầm và âm bổng.

Vậy *âm càng cao khi tần số càng lớn.*

Tai con người chỉ có thể cảm nhận được (nghe thấy) những âm có tần số trong khoảng từ 16 Hz đến 20 000 Hz. Những âm có tần số lớn hơn 20 000 Hz gọi là *siêu âm* và những âm có tần số nhỏ hơn 16 Hz gọi là *hạ âm.*

Để phân biệt với siêu âm và hạ âm, có khi người ta dùng thuật ngữ *âm thanh* để chỉ những âm mà tai con người có thể nghe được.

b) Âm sắc

Khi ta nghe hoà nhạc, ba nhạc cụ cùng tấu lên một đoạn nhạc ở cùng một độ cao nhưng ta vẫn phân biệt được tiếng của từng nhạc cụ. Nếu đưa các tín hiệu âm này vào dao động kí điện tử ta sẽ thấy trên màn hình những đồ thị dao động có cùng tần số nhưng có dạng rất khác nhau (Hình 17.3). Dạng đồ thị dao động khác nhau chứng tỏ li độ của dao động âm biến đổi khác nhau. Vì thế, sóng âm tác dụng vào màng nhĩ của tai, làm cho màng nhĩ dao động theo những kiểu khác nhau. Do đó, ta nghe thấy các âm đó có sắc thái khác nhau. Đặc tính đó của âm gọi là *âm sắc*. Âm sắc khác nhau thì dạng đồ thị dao động của âm khác nhau.

c) Độ to của âm, cường độ âm, mức cường độ âm

Cường độ âm được xác định là năng lượng được sóng âm truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sóng trong một đơn vị thời gian. Đơn vị cường độ âm là "oát trên mét vuông" (W/m^2). Cường độ âm càng lớn, cho ta cảm giác nghe thấy âm càng to. Tuy nhiên *độ to* của âm không tỉ lệ thuận với cường độ âm.

Tai con người có thể nghe được âm có cường độ âm nhỏ nhất bằng 10^{-12} W/m^2 ứng với âm chuẩn có tần số 1000 Hz (gọi là cường độ âm chuẩn I_0) và âm có cường độ âm lớn nhất bằng 10 W/m^2. Như vậy, âm mạnh nhất có cường độ âm I lớn gấp 10^{13} lần cường độ âm chuẩn I_0, vì $\frac{I}{I_0} = 10^{13}$.

Để so sánh độ to của một âm với độ to âm chuẩn, người ta dùng đại lượng *mức cường độ âm* đo bằng đơn vị *ben*, kí hiệu là B. Mức cường độ âm được định nghĩa bằng công thức :

$$L(\mathrm{B}) = \lg\frac{I}{I_0} \qquad (17.1)$$

Gọi âm có cường độ bằng cường độ âm chuẩn $\left(\frac{I}{I_0} = 1 = 10^0\right)$ là có mức cường độ âm bằng 0 B, thì âm mạnh nhất $\left(\frac{I}{I_0} = 10^{13}\right)$ có mức cường độ âm bằng 13 B.

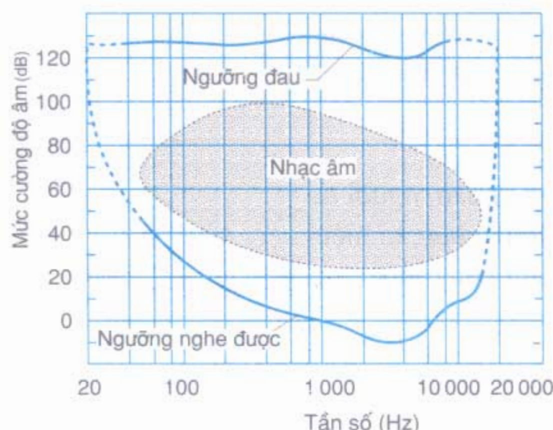
Theo một quy luật sinh lí học do Vê-be phát hiện, khi cường độ âm tăng lên 10^n lần thì cảm giác về độ to của âm chỉ tăng lên n lần. Ta lại biết $\lg 10^n = n$. Vậy cảm giác về độ to của âm biến đổi như lôgarit thập phân của cường độ âm (kích thích vật lí).

Ở đây đã dùng kí hiệu lg thay cho $\log_{10}$.

Tai con người chỉ có thể phân biệt được hai âm có mức cường độ âm chênh lệch nhau ít nhất là 0,1 B. Bởi vậy, người ta thường dùng một ước của ben là đêxiben, kí hiệu là dB :

$$1 \text{ dB} = 0{,}1 \text{ B}$$

Khi cường độ âm tăng lên 10^n lần thì mức cường độ âm cộng thêm $10n$ dB.



Hình 17.5 Sơ đồ biểu diễn giới hạn nghe của tai người.

Dùng đơn vị *đêxiben* thì công thức (17.1) trở thành :

$$L(\text{dB}) = 10\lg\frac{I}{I_0} \qquad (17.2)$$

Mức cường độ âm của một số âm thường gặp có trị số trong khoảng từ 20 dB đến 100 dB. Chẳng hạn tiếng nói chuyện bình thường có mức cường độ âm bằng 40 dB.

d) Giới hạn nghe của tai người

Do đặc điểm sinh lí của tai, để âm thanh gây được cảm giác âm, mức cường độ âm phải lớn hơn một giá trị cực tiểu nào đó gọi là *ngưỡng nghe*. Ngưỡng nghe lại thay đổi theo tần số của âm. Ví dụ, với các âm có tần số từ 1 000 Hz đến 1 500 Hz thì ngưỡng nghe vào khoảng 0 dB, còn với tần số 50 Hz, ngưỡng nghe là 50 dB (Hình 17.5).

Cảm giác nghe âm "to" hay "nhỏ" không những phụ thuộc vào cường độ âm mà còn phụ thuộc vào tần số của âm. Với cùng một cường độ âm, tai ta nghe được âm có tần số cao "to" hơn âm có tần số thấp. Do đó, phát thanh viên nữ nói nghe rõ hơn phát thanh viên nam.

Khi cường độ âm lên tới 10 W/m^2 ứng với mức cường độ âm 130 dB thì sóng âm với mọi tần số gây cho tai ta cảm giác nhức nhối, đau đớn. Giá trị cực đại của cường độ âm mà tai ta có thể chịu đựng được gọi là *ngưỡng đau* (Hình 17.5). Ngưỡng đau ứng với mức cường độ âm là 130 dB và hầu như không phụ thuộc vào tần số của âm.

5. Nguồn nhạc âm

a) Dây đàn hai đầu cố định

Khi nghiên cứu về sóng dừng, ta đã biết với một sợi dây đàn hồi hai đầu cố định, sẽ có sóng dừng khi độ dài của dây bằng một số nguyên lần nửa bước sóng : $l = n\frac{\lambda}{2}$. Bước sóng lại phụ thuộc vào tốc độ truyền sóng : $v = f\lambda$.

Như vậy, trên một sợi dây có độ dài *l*, được kéo căng bằng một lực không đổi, chỉ xảy ra sóng dừng với tần số :

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2l} \qquad (17.3)$$

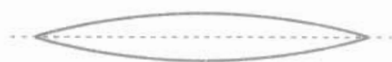
Sóng dừng đơn giản nhất ứng với $n = 1$, $l = \frac{\lambda}{2}$, $f_1 = \frac{v}{2l}$. Lúc đó, sóng dừng trên dây có hai nút và một bụng (Hình 17.6a), âm phát ra được gọi là *âm cơ bản*.

Trên sợi dây cũng có thể hình thành những sóng dừng khác. Ví dụ như, với $n = 2$, $f_2 = \frac{v}{l}$, sóng dừng có 3 nút và 2 bụng (Hình 17.6b), âm phát ra lúc này gọi là *hoạ âm bậc* 2 ; với $n = 3$, ta có *hoạ âm bậc* 3 ứng với sóng dừng có 4 nút, 3 bụng và có tần số $f_3 = \frac{3v}{2l}$ (Hình 17.6c).

Như vậy, mỗi dây đàn được kéo căng bằng một lực cố định đồng thời có thể phát ra âm cơ bản và một số hoạ âm bậc cao hơn, có tần số là một số nguyên lần tần số của âm cơ bản. Trên dây lan truyền đồng thời nhiều dao động điều hoà có tần số là một số nguyên lần tần số của âm cơ bản.

C4 Sóng dừng trên một sợi dây đàn hồi một đầu cố định, một đầu tự do có dạng như thế nào ? Độ dài của dây có giá trị bằng bao nhiêu khi có sóng dừng ?

Mỗi sợi dây được kéo bằng một lực căng τ và có mật độ dài là μ thì có tốc độ truyền sóng trên dây là $v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$.



a) Âm cơ bản



b) Hoạ âm bậc 2



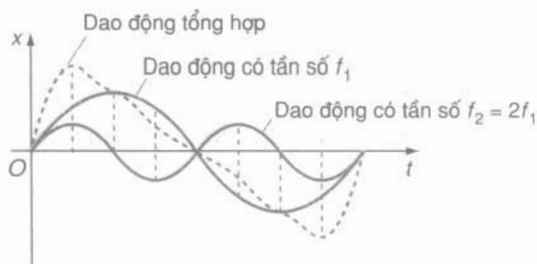
c) Hoạ âm bậc 3

Hình 17.6 Các loại sóng dừng có thể hình thành trên dây đàn có độ dài l, hai đầu cố định.

Tổng hợp những dao động đó ta được một dao động tuần hoàn phức tạp có cùng tần số với âm cơ bản.

Kết quả là hai nhạc cụ phát ra cùng một âm cơ bản, nhưng có các hoạ âm khác nhau thì âm tổng hợp phát ra bởi từng nhạc cụ sẽ có cùng tần số (cùng độ cao), nhưng có dạng đồ thị dao động khác nhau nên có âm sắc khác nhau.

Trên Hình 17.7, bằng cách cộng các li độ ở các thời điểm khác nhau, ta tìm được đồ thị của dao động tổng hợp của hai dao động điều hoà, trong đó một dao động có tần số bằng một số nguyên lần tần số của dao động thứ hai. Dao động tổng hợp có tần số bằng tần số nhỏ nhất, nhưng có dạng đồ thị là một đường tuần hoàn phức tạp.



Hình 17.7 Tổng hợp hai dao động điều hoà có tần số f_1 và $f_2 = 2f_1$.

b) Ống sáo

Ống sáo và các loại kèn khí như clarinet, xaxôphôn đều có bộ phận chính là một ống có một đầu kín, một đầu hở (Hình 17.8). Khi ta thổi một luồng khí vào miệng sáo thì không khí ở đó sẽ dao động. Dao động này truyền đi dọc theo ống sáo, tạo thành sóng âm. Sóng âm bị phản xạ ở hai đầu ống. Sẽ xảy ra hiện tượng sóng dừng nếu độ dài của ống bằng một số lẻ lần một phần tư bước sóng :

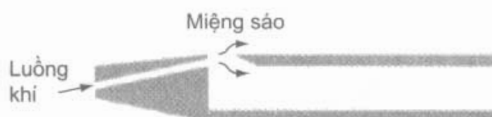
$$l = m\frac{\lambda}{4} \text{ với } m = 1, 3, 5,...$$

Ứng với tần số là :

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{mv}{4l} \quad (17.4)$$

Sự phản xạ của sóng âm ở hai đầu ống sáo giống như sự phản xạ sóng ở hai đầu một sợi dây có một đầu cố định và một đầu tự do. Đầu kín của ống sáo ứng với đầu cố định của dây, đầu hở ứng với đầu tự do của dây (Hình 15.7). Độ dài ống sáo tính theo công thức (15.6) :

$$l = m\frac{\lambda}{4}$$



Hình 17.8 Cấu tạo của ống sáo

Trường hợp đơn giản nhất là $m = 1$, âm phát ra là âm cơ

bản có tần số là $f_1 = \dfrac{v}{4l}$. Trong ống có một bụng sóng và một nút sóng, biểu diễn trên Hình 17.9a.

Với $m = 3, 5,...,$ ta có các hoạ âm bậc 3, bậc 5,..., có các bụng sóng và nút sóng như trên Hình 17.9b, c.

Như vậy, ống sáo một đầu kín, một đầu hở chỉ có thể phát ra các hoạ âm có số bậc lẻ. Độ dài của ống càng lớn thì âm phát ra có tần số càng nhỏ, âm phát ra càng trầm.



a) Âm cơ bản



b) Hoạ âm bậc 3



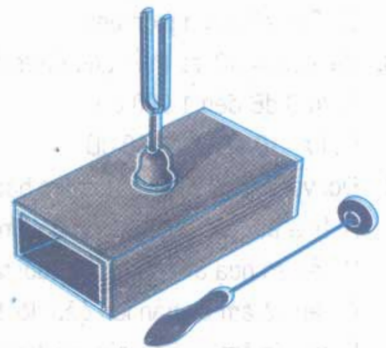
c) Hoạ âm bậc 5

Hình 17.9 *Biểu diễn sóng dừng trong một ống sáo có một đầu kín, một đầu hở.*

6. Hộp cộng hưởng

Cầm cán của một âm thoa rồi dùng vồ cao su gõ nhẹ vào một nhánh của âm thoa, âm thoa sẽ phát ra một âm nghe rất khẽ. Nếu cho cán của âm thoa đang phát âm chạm vào vỏ một hộp gỗ, hay kim loại (Hình 17.10) một đầu kín, một đầu hở, có kích thước thích hợp thì âm phát ra sẽ giữ nguyên độ cao nhưng cường độ âm tăng lên rõ rệt. Lúc đó có hiện tượng *cộng hưởng âm* và hộp đó gọi là *hộp cộng hưởng.*

Mỗi cây đàn dây thường có dây được căng trên một hộp đàn có hình dạng và kích thước khác nhau. Hộp đàn có tác dụng như một hộp cộng hưởng sẽ tăng cường âm cơ bản và một số hoạ âm khiến cho âm tổng hợp phát ra vừa to, vừa có một âm sắc riêng đặc trưng cho đàn đó.



Hình 17.10 *Âm thoa gắn trên hộp cộng hưởng.*

Có thể giải thích hiện tượng cộng hưởng âm như sau. Mỗi hộp cộng hưởng coi như một ống có một đầu kín một đầu hở. Khi âm thoa dao động, nó truyền dao động này cho cột khí trong hộp, tạo ra sóng âm. Sóng âm phản xạ ở hai đầu hộp tạo ra sóng dừng giống như trong ống sáo. Có sóng dừng khi độ dài l của ống phù hợp với công thức (17.4) : $f = \dfrac{mv}{4l}$, trong đó f là tần số riêng của hộp.

Nếu tần số của âm thoa gần bằng tần số riêng f của hộp thì sóng dừng sẽ mạnh lên và cường độ âm được tăng lên nhiều lần. Lúc đó, ta gọi là có cộng hưởng âm.

CÂU HỎI

1. Giải thích vì sao hai dây đàn giống nhau, mắc trên hai hộp đàn có hình dạng, kích thước khác nhau lại có thể phát ra hai âm có âm sắc khác nhau ?
2. Cường độ âm và mức cường độ âm liên hệ với nhau như thế nào ?

BÀI TẬP

1. Cảm giác về âm phụ thuộc những yếu tố nào sau đây ?

   A. Nguồn âm và môi trường truyền âm. B. Nguồn âm và tai người nghe.

   C. Môi trường truyền âm và tai người nghe. D. Tai người nghe và thần kinh thính giác.

2. Độ cao của âm phụ thuộc vào yếu tố nào sau đây ?

   A. Độ đàn hồi của nguồn âm. B. Biên độ dao động của nguồn âm.

   C. Tần số của nguồn âm. D. Đồ thị dao động của nguồn âm.

3. Tai con người có thể nghe được những âm có mức cường độ âm ở trong khoảng

   A. từ 0 dB đến 1 000 dB. B. từ 10 dB đến 100 dB.

   C. từ –10 dB đến 100 dB. D. từ 0 dB đến 130 dB.

4. Đối với âm cơ bản và hoạ âm bậc 2 do cùng một dây đàn phát ra thì

   A. hoạ âm bậc 2 có cường độ lớn hơn cường độ âm cơ bản.

   B. tần số hoạ âm bậc 2 gấp đôi tần số âm cơ bản.

   C. tần số âm cơ bản lớn gấp đôi tần số hoạ âm bậc 2.

   D. tốc độ âm cơ bản gấp đôi tốc độ hoạ âm bậc 2.

5. Hộp cộng hưởng có tác dụng

   A. làm tăng tần số của âm. B. làm giảm bớt cường độ âm.

   C. làm tăng cường độ của âm. D. làm giảm độ cao của âm.

6. Tiếng la hét 80 dB có cường độ lớn gấp bao nhiêu lần tiếng nói thầm 20 dB ?
7. Một dây đàn viôlon hai đầu cố định, dao động, phát ra âm cơ bản ứng với nốt nhạc la có tần số 440 Hz. Tốc độ sóng trên dây là 250 m/s. Hỏi độ dài của dây bằng bao nhiêu ?

Em có biết ?

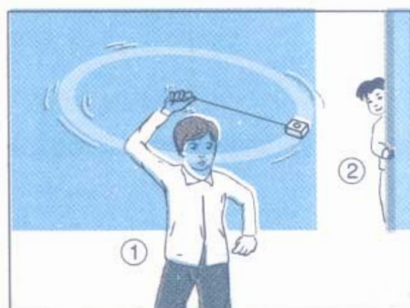
Siêu âm ngày càng có nhiều ứng dụng trong khoa học kĩ thuật. Những sóng siêu âm có tần số hàng chục vạn héc (Hz) có khả năng truyền trong chất lỏng và chất rắn, nhưng lại bị chất khí hấp thụ mạnh. Người ta dùng siêu âm để *thăm sát* dưới nước như phát hiện đá ngầm, nguồn cá, đo độ sâu.

Sóng siêu âm phản xạ khác nhau ở những chỗ không đồng nhất của các vật. Nhờ tính chất đó, người ta dùng siêu âm để dò những khuyết tật trong các khối kim loại. Trong Y học, người ta dùng siêu âm để soi các bộ phận trong cơ thể, vì các thiết bị thăm dò bằng siêu âm cho hình ảnh có độ nhạy cao và không gây hại cho cơ thể con người.

18 HIỆU ỨNG ĐỐP-PLE

1. Thí nghiệm

Một người buộc một nguồn phát âm nhỏ vào đầu một sợi dây mềm, giữ cố định đầu dây kia và điều khiển cho nguồn âm quay tròn đều (Hình 18.1). Người này nghe thấy âm từ nguồn phát ra có độ cao không đổi (nghĩa là tần số không đổi) khi nguồn quay. Trong khi đó, người quan sát thứ hai đứng bên ngoài vòng quay của nguồn lại nghe thấy âm có độ cao thay đổi. Khi nguồn âm chuyển động lại gần người quan sát thì người này nghe thấy âm cao hơn, còn khi nguồn đi ra xa lại nghe thấy một âm thấp hơn.



Hình 18.1 Hiệu ứng Đốp-ple chỉ xảy ra với người quan sát 2.

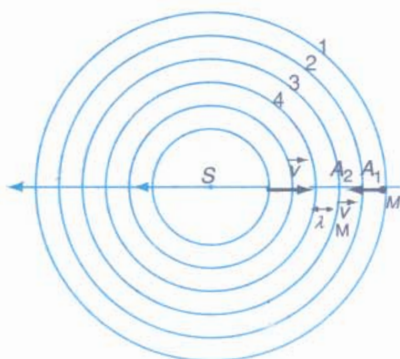
Sự thay đổi tần số sóng do nguồn sóng chuyển động tương đối so với máy thu như trên gọi là hiệu ứng Đốp-ple.

2. Giải thích hiện tượng

a) Nguồn âm đứng yên, người quan sát (máy thu) chuyển động

Trên Hình 18.2 vẽ các vòng tròn đỉnh sóng phát ra từ một tâm dao động đứng yên. Hai đỉnh sóng liên tiếp cách nhau một bước sóng $\lambda = \frac{v}{f}$ với v là tốc độ truyền sóng và f là tần số sóng. v cũng là tốc độ dịch chuyển của một đỉnh sóng (Hình 18.2).

Nếu người quan sát M chuyển động lại gần nguồn S với tốc độ v_M nghĩa là ngược chiều với chuyển động của các đỉnh sóng thì tốc độ dịch chuyển của đỉnh sóng so với người quan sát là : $v + v_M$.



Hình 18.2 Hình ảnh các vòng tròn đỉnh sóng phát ra từ một nguồn âm đứng yên.

Trong thời gian t, một đỉnh sóng lại gần người quan sát được một quãng đường bằng $(v + v_M)t$. Số lần bước sóng đã đi qua tai người trong thời gian đó là $\frac{(v + v_M)t}{\lambda}$. Vậy trong 1 s, tai người quan sát đã đón nhận được một số lần bước sóng bằng :

$$f' = \frac{(v + v_M)t}{\lambda t} = \frac{v + v_M}{\lambda}$$

$$f' = \frac{v + v_M}{v} f \quad (18.1)$$

f' chính là tần số của âm nghe được.

Vậy khi người quan sát chuyển động lại gần nguồn âm thì sẽ nghe được âm có tần số lớn hơn tần số âm phát ra.

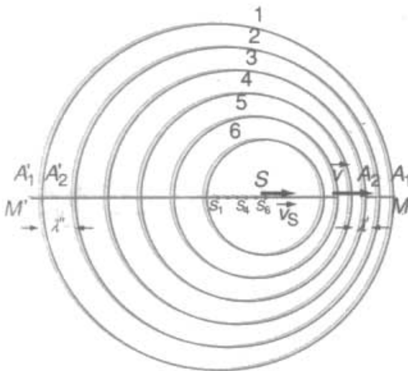
Nếu người quan sát chuyển động ra xa nguồn âm thì sẽ nghe được một âm có tần số f'' nhỏ hơn tần số âm phát ra :

$$f'' = \frac{v - v_M}{v} f \quad (18.2)$$

C1 Khi người quan sát chuyển động ra xa nguồn âm, nghĩa là cùng chiều với sóng âm thì tốc độ dịch chuyển của một đỉnh sóng so với người quan sát là $v - v_M$. Từ đó, hãy suy ra tần số âm nghe được.

b) Nguồn âm chuyển động lại gần người quan sát đứng yên

Giả sử ở thời điểm $t = 0$ nguồn phát ra một đỉnh sóng A_1 truyền đi với tốc độ v trong môi trường, sau chu kì T đi được một khoảng vT. Cũng trong thời gian đó, nguồn di chuyển được một khoảng $v_S T$ theo phương truyền sóng và cách đỉnh A_1 một khoảng $(v - v_S)T$ với $v > v_S$ (Hình 18.3). Đúng lúc đó, nguồn phát ra một đỉnh sóng A_2 cũng truyền trong môi trường với tốc độ v. Vậy khoảng cách giữa hai đỉnh sóng liên tiếp $A_1A_2 = (v - v_S)T = \frac{(v - v_S)}{f}$.



Hình 18.3 Hình ảnh các vòng tròn đỉnh sóng khi nguồn âm S chuyển động lại gần người quan sát M và ra xa người quan sát M'.

A_1A_2 cũng là bước sóng mới. Trong khi đó tốc độ truyền của các đỉnh sóng vẫn là v. Vậy tần số của sóng mà người quan sát ghi nhận được là :

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v - v_S} f \qquad (18.3)$$

Vậy $f' > f$.

Trong trường hợp nguồn âm chuyển động ra xa người quan sát M', thì bước sóng mới được tạo thành bằng $(v + v_S)T$. Do đó tần số âm nghe được là :

$$f'' = \frac{v}{v + v_S} f < f \qquad (18.4)$$

C2 Khi nguồn âm chuyển động ra xa máy thu, cũng lập luận tương tự như trên, chứng minh rằng bước sóng mới được tạo thành có độ dài là :

$$A_1'A_2' = (v + v_S)T$$

CÂU HỎI

1. Giải thích vì sao khi máy thu chuyển động lại gần nguồn âm thì âm ghi nhận được lại có tần số lớn hơn âm phát ra ?
2. Những tính chất nào của âm sẽ bị thay đổi khi nguồn âm chuyển động lại gần máy thu ?

BÀI TẬP

1. Hiệu ứng Đốp-ple gây ra hiện tượng gì sau đây ?

   A. Thay đổi cường độ âm khi nguồn âm chuyển động so với người nghe.

   B. Thay đổi độ cao của âm khi nguồn âm chuyển động so với người nghe.

   C. Thay đổi âm sắc của âm khi người nghe chuyển động lại gần nguồn âm.

   D. Thay đổi cả độ cao và cường độ âm khi nguồn âm chuyển động.

2. Trong trường hợp nào sau đây thì âm do máy thu ghi nhận được có tần số lớn hơn tần số của âm do nguồn âm phát ra ?

   A. Nguồn âm chuyển động ra xa máy thu đứng yên.

   B. Máy thu chuyển động ra xa nguồn âm đứng yên.

   C. Máy thu chuyển động lại gần nguồn âm đứng yên.

   D. Máy thu chuyển động cùng chiều và cùng tốc độ với nguồn âm.

3. Một cái còi phát sóng âm có tần số 1 000 Hz chuyển động đi ra xa một người đứng bên đường về phía một vách đá với tốc độ 10 m/s. Lấy tốc độ âm trong không khí là 330 m/s. Hãy tính :

a) Tần số của âm người đó nghe trực tiếp từ cái còi.

b) Tần số của âm người đó nghe được khi âm phản xạ lại từ vách đá.

Em có biết ?

Hiệu ứng Đốp-ple không những xảy ra với sóng âm mà còn xảy ra với cả sóng siêu âm có bước sóng rất ngắn, sóng vô tuyến điện và sóng ánh sáng.

Cảnh sát dùng hiệu ứng Đốp-ple để xác định tốc độ của xe. Một máy phát sóng cực ngắn với một tần số *f* hướng về phía xe đang chạy lại gần máy. Sóng bị phản xạ lại từ các bộ phận kim loại của xe để trở về máy rađa thì có tần số *f* ', cao hơn *f* do có sự chuyển động tương đối của xe đối với máy rađa. Máy rađa chuyển đổi hiệu số giữa *f* và *f* ' thành tốc độ của xe, và tốc độ này được hiển thị trên màn hình máy rađa.

19 BÀI TẬP VỀ SÓNG CƠ

Bài tập 1

Phương trình của một sóng ngang truyền trên một dây rất dài là :

$$u = 6{,}0\cos(0{,}020\pi x + 4{,}0\pi t)$$

trong đó u và x được tính bằng xentimét (cm) và t bằng giây (s). Hãy xác định :

a) Biên độ. b) Bước sóng. c) Tần số. d) Tốc độ.

e) Li độ u tại $x = 50$ cm, lúc $t = 0{,}50$ s.

Bài giải

Phương trình sóng có thể viết dưới dạng tổng quát : $u = A\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{2\pi}{T}t\right)$.

Đối chiếu với phương trình đã cho :

$$u = 6{,}0\cos(0{,}020\pi x + 4{,}0\pi t)\ \text{(cm)}$$

ta có :

a) Biên độ sóng : $A = 6$ cm.

b) Bước sóng : $\frac{2\pi}{\lambda}x = 0{,}02\pi x$, do đó $\lambda = \frac{2}{0{,}02} = 100$ cm.

c) Tần số $f = \frac{1}{T}$ với T cho bởi : $\frac{2\pi}{T} = 4\pi$, do đó $T = \frac{1}{2}$ s và $f = 2$ Hz.

d) Tốc độ sóng : $v = \lambda f = 100.2 = 200$ cm/s.

e) Li độ u khi $x = 50$ cm, $t = 0{,}50$ s là :

$u = 6{,}0\cos(0{,}02.50 + 4.0{,}5)\pi = 6{,}0\cos(1 + 2)\pi = 6{,}0\cos 3\pi = -6$ (cm)

Bài tập 2

Một sóng ngang dạng sin truyền trên một sợi dây theo chiều dương của trục Ox, với bước sóng 10 cm, tần số 400 Hz, biên độ 2 cm và pha ban đầu tại O bằng 0.

a) Viết phương trình sóng.

b) Xác định tốc độ truyền sóng.

c) Tìm hiệu toạ độ của hai điểm gần nhất có độ lệch pha là $\frac{\pi}{2}$.

Bài giải

a) Phương trình sóng có dạng :

$$u(t) = A\cos\left(2\pi ft - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \quad (1)$$

Ta có : $A = 2$ cm ; $\lambda = 10$ cm ; $f = 400$ Hz.

Vậy :

$$u(t) = 2\cos\left(800\pi t - \frac{2\pi}{10}x\right) \text{ (cm)}$$

$$u(t) = 2\cos(800\pi t - 0,2\pi x) \text{ (cm)}$$

b) Tốc độ truyền sóng là : $v = f\lambda = 400.10 = 4\,000$ cm/s.

c) Từ phương trình sóng (1), ta có độ lệch pha $\Delta\varphi$ giữa hai điểm có toạ độ x_1 và x_2 được tính theo công thức :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1) = 0,2\pi\Delta x$$

Với $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$, ta có :

$$\Delta x = \frac{\Delta\varphi}{0,2\pi} = \frac{\pi}{2.0,2\pi} = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ cm}$$

Bài tập 3

Hai sóng lan truyền theo cùng một chiều trên một sợi dây kéo căng, có cùng tần số, cùng biên độ 10 mm và hiệu số pha là $\frac{\pi}{2}$. Sóng không bị phản xạ ở đầu dây.

a) Lập phương trình của sóng tổng hợp.

b) Xác định biên độ của sóng tổng hợp.

c) Độ lệch pha giữa hai sóng phải bằng bao nhiêu để biên độ của sóng tổng hợp bằng biên độ của hai sóng thành phần ?

Bài giải

a) Giả sử sóng thứ nhất truyền từ trái sang phải có phương trình :

$$u_1 = A_1\cos(\omega t - kx)$$

thì sóng thứ hai truyền cùng chiều, sớm pha hơn $\frac{\pi}{2}$ có phương trình :

$$u_2 = A_2\cos\left(\omega t - kx + \frac{\pi}{2}\right)$$

Độ lệch pha giữa hai sóng là $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$.

Phương trình của sóng tổng hợp là :

$$u = u_1 + u_2 = A\cos(\omega t - kx) + A\cos\left(\omega t - kx + \frac{\pi}{2}\right)$$

Áp dụng công thức lượng giác :

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$

ta được :

$$u = 2A\cos\frac{\pi}{4}\cos\left(\omega t - kx + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$u = 2.10\cos\frac{\pi}{4}\cos\left(\omega t - kx + \frac{\pi}{4}\right) \text{ (mm)}$$

b) Vậy biên độ của sóng tổng hợp là : $a = 20\cos\frac{\pi}{4} = 20\frac{\sqrt{2}}{2} = 14,1$ mm.

c) Ta có phương trình : $a = 2A\left|\cos\frac{\Delta\varphi}{2}\right| = A.$

Từ đó : $2\left|\cos\frac{\Delta\varphi}{2}\right| = 1$ hay $\cos\frac{\Delta\varphi}{2} = \pm\frac{1}{2}$, suy ra $\Delta\varphi_1 = \pm\frac{2\pi}{3}$ và $\Delta\varphi_2 = \pm\frac{4\pi}{3}$.

Có bốn nghiệm số, hai nghiệm âm ứng với sóng thứ nhất sớm pha hơn sóng thứ hai, hai nghiệm dương kia ứng với sóng thứ hai sớm pha hơn sóng thứ nhất.

Bài tập 4

Hai nguồn điểm phát sóng trên mặt nước có cùng bước sóng λ, cùng pha, cùng biên độ, đặt cách nhau một khoảng $D = 2,5\lambda$.

a) Có bao nhiêu vân giao thoa có biên độ dao động cực đại ?

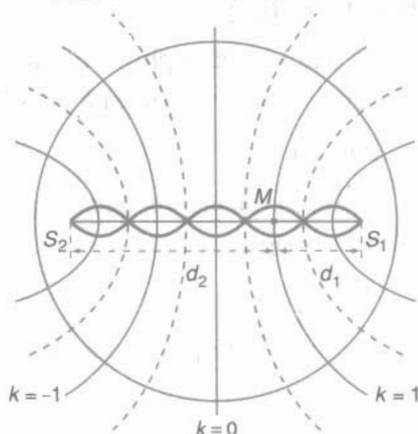
b) Vẽ một vòng tròn lớn bao cả hai nguồn sóng vào trong. Trên vòng ấy có bao nhiêu điểm có biên độ dao động cực đại, bao nhiêu điểm dao động với biên độ cực tiểu ?

Bài giải

a) Hai sóng mặt nước cùng pha xuất phát từ hai nguồn S_1, S_2 truyền ngược chiều nhau. Hai nguồn dao động cùng pha, dao động cùng phương nên hai sóng là kết hợp, giao thoa với nhau tạo thành những vân giao thoa.

Tại điểm M trên đường nối S_1S_2, cách S_1 một khoảng d_1 và cách S_2 một khoảng d_2 sẽ có vân có biên độ dao động cực đại khi (Hình 19.1) : $d_2 - d_1 = k\lambda$.

Ở đây $d_2 + d_1 = 2,5\lambda$, nên :



Hình 19.1

– Với $k = 0$ thì $d_1 = d_2 = \frac{2,5}{2}\lambda$, ta có vân chính giữa là một vân có biên độ dao động cực đại.

– Với $k = 1$ thì $d_2' - d_1' = \lambda,$ do đó $d_2' = \frac{3,5}{2}\lambda,$ ta có vân cực đại thứ nhất. Khoảng cách giữa hai vân cực đại liên tiếp là : $l = d_2' - d_2 = (3,5 - 2,5)\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}.$

– Với $k = 2$, ta có vân cực đại thứ hai ứng với $d_2'' = \frac{4,5}{2}\lambda.$

Vì $d_2 < 2,5\lambda$ nên không có vân cực đại tương ứng với $k = 3, 4,...$

Cũng tính tương tự như vậy, ta có hai vân cực đại khác ứng với $k = -1, -2$.

Vậy có 5 vân giao thoa có biên độ dao động cực đại.

b) Tổng cộng có 5 vân có biên độ dao động cực đại, nên vòng tròn bao quanh hai nguồn S_1 và S_2 cắt các vân cực đại ở 10 điểm.

Điểm M sẽ có biên độ dao động cực tiểu khi : $d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda.$

Lần lượt thay k bằng các giá trị $-2, -1, 0, +1$, ta có vị trí của các vân có biên độ dao động cực tiểu ứng với các giá trị của d_2 là $\frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, 2\lambda.$

Vậy có 4 vân có biên độ dao động cực tiểu, cắt vòng tròn bao quanh S_1 và S_2 ở 8 điểm.

Bài tập 5

Một dây đàn có độ dài $l = 80$ cm, khi gảy phát ra âm cơ bản tương ứng có tần số f.

a) Cần phải bấm phím cho dây ngắn lại còn độ dài l' bằng bao nhiêu để âm cơ bản phát ra bằng $\frac{6}{5}f$?

b) Sau khi bấm phím thì âm mới do dây đàn phát ra có bước sóng gấp bao nhiêu lần bước sóng của âm phát ra khi chưa bấm phím ?

Bài giải

a) Âm cơ bản ứng với trường hợp sóng dừng trên dây có một bụng, nghĩa là độ dài của dây bằng nửa bước sóng :

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f} \qquad (1)$$

Cũng như thế, sau khi bấm phím cho dây đàn ngắn lại thì âm cơ bản mới có bước sóng mới λ', ta có :

$$l' = \frac{\lambda'}{2} = \frac{v}{2f'} \qquad (2)$$

Độ căng của dây không đổi, nên tốc độ truyền dao động trên dây trong hai lần đều bằng v, không đổi.

Từ (1) và (2), rút ra :

$$\frac{l}{l'} = \frac{\frac{v}{2f}}{\frac{v}{2f'}} = \frac{f'}{f} = r \qquad (3)$$

Vậy : $l' = \frac{l}{r} = \frac{80}{\frac{6}{5}} = \frac{80.5}{6} = 66,6$ cm.

b) Cũng từ (1) và (2), rút ra : $\frac{l}{l'} = \frac{\lambda}{\lambda'} = r \Rightarrow \lambda' = \frac{\lambda}{r} = \frac{5}{6}\lambda$.

Bài tập 6

Một người cảnh sát giao thông đứng ở một bên đường dùng còi điện phát ra một âm có tần số 1 000 Hz hướng về một chiếc ô tô đang chuyển động về phía mình với tốc độ 36 km/h. Sóng âm truyền trong không khí với tốc độ 340 m/s.

a) Hỏi tần số của âm phản xạ từ ô tô mà người đó nghe được là bao nhiêu ?

b) Ô tô phát ra một âm có tần số 800 Hz, hỏi tín hiệu này đến tai người cảnh sát với tần số là bao nhiêu ?

Bài giải

a) Ô tô xem như một máy thu chuyển động lại gần nguồn âm, vậy tần số f' của âm mà máy thu ghi nhận được là :

$$f' = \frac{v + v_M}{v} f$$

trong đó v và tốc độ âm trong không khí, v_M là tốc độ máy thu, f là tần số của âm do còi phát ra.

Ô tô phản xạ lại âm nhận được có tần số f' và đóng vai trò của nguồn phát chuyển động về phía người cảnh sát với tốc độ $v_S = v_M$. Do đó tần số âm mà người cảnh sát nghe được là :

$$f'' = \frac{v}{v - v_S} f'$$

$$f'' = \frac{v}{v - v_S} . \frac{v + v_M}{v} f = \frac{v + v_M}{v - v_M} f$$

$$f'' = \frac{340 + 10}{340 - 10} .1000 = 1\ 060 \text{ Hz}$$

b) Ô tô phát ra tiếng còi trong khi đi lại gần người cảnh sát, vậy người cảnh sát nhận được tín hiệu có tần số là :

$$f' = \frac{v}{v - v_S} f = \frac{340}{340 - 10} .800 = 824 \text{ Hz}$$

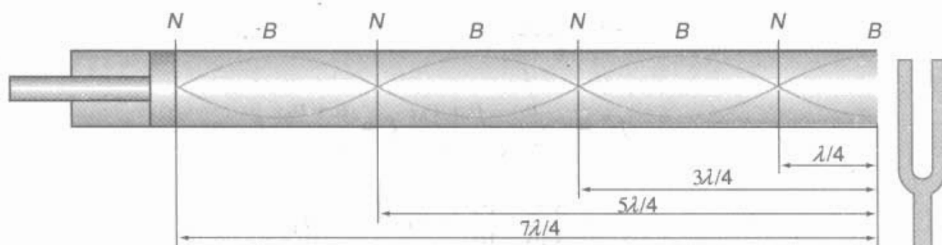
20 THỰC HÀNH :
XÁC ĐỊNH TỐC ĐỘ TRUYỀN ÂM

1. Mục đích

- Hiểu được hai phương án đo bước sóng của âm trong không khí dựa vào hiện tượng cộng hưởng giữa dao động của cột không khí trong ống và dao động của nguồn âm. Biết tần số của âm, tính được tốc độ truyền âm trong không khí.
- Rèn luyện kĩ năng lựa chọn phương án và sử dụng dụng cụ để xác định độ dài của cột không khí trong ống khi âm nghe thấy có cường độ lớn nhất.

2. Cơ sở lí thuyết

Hình 20.1 mô tả hiện tượng sóng dừng xảy ra trong một ống trụ khi một nguồn âm đặt tại đầu hở của ống dao động. Sóng tới từ nguồn âm giao thoa với sóng phản xạ, tạo thành sóng dừng có các nút và bụng xen kẽ nhau. Khi độ dài của cột không khí trong ống có giá trị là $\frac{\lambda}{4}$, $\frac{3\lambda}{4}$, $\frac{5\lambda}{4}$, $\frac{7\lambda}{4}$, ... thì xảy ra hiện tượng cộng hưởng, ta nghe thấy âm to nhất. Lúc đó, đầu hở của ống là một bụng B, còn đầu kín của ống là một nút N. Khoảng cách giữa hai nút hoặc hai bụng liên tiếp bằng $\frac{\lambda}{2}$.



Hình 20.1 Mô tả sóng dừng trong ống khí.

Dựa vào tính chất trên, ta xác định được bước sóng λ của âm và biết tần số f của âm, ta tính được tốc độ truyền âm trong không khí $v = \lambda f$.

3. Phương án thí nghiệm

a) Phương án 1

• Dụng cụ thí nghiệm

– Ống nhựa (xilanh) hình trụ dài 70 cm, đường kính 3 ÷ 4 cm, được gắn ở một đầu một vòng đệm nhựa dày 1 cm có lỗ đường kính 2 cm.

– Ống nhôm (cán pittông) dài 72 cm, đường kính 2 cm, đồng trục với xilanh có một đầu được gắn một khối trụ nhựa (pittông) dài 3 cm, đường kính 3 ÷ 4 cm.

– Nguồn âm : âm thoa la có tần số $f = 440$ Hz ± 10 Hz và búa gõ âm thoa bằng cao su, hoặc máy phát âm tần phát ra được âm dạng sin có $f_1 = 440$ Hz, $f_2 = 880$ Hz và được nối với một loa nhỏ.

– Thước chia đến milimét được dán lên cán pittông.

– Giá đỡ xilanh, nguồn âm.



Hình 20.2 Dụng cụ xác định tốc độ truyền âm phát ra từ âm thoa.

• Tiến trình thí nghiệm

– Lắp xilanh đã được lồng pittông và âm thoa lên giá sao cho hai nhánh âm thoa nằm trong mặt phẳng chứa trục xilanh, vuông góc với trục xilanh và một nhánh âm thoa nằm gần sát đầu hở của xilanh (Hình 20.2).

– Dịch pittông để mặt pittông trùng với đầu hở của xilanh. Khi đó, đầu kia của xilanh trùng với vạch số 0 của thước trên cán pittông.

– Dùng búa cao su gõ vào một nhánh của âm thoa, đồng thời dịch chuyển dần pittông ra xa đầu hở của xilanh. Lắng nghe âm phát ra để xác định vị trí của pittông khi nghe thấy âm to nhất. Đọc và ghi vào bảng số liệu độ dài l của cột khí trong xilanh nhờ thước trên cán pittông.

– Lặp lại bước thí nghiệm này bốn lần để xác định và ghi vào bảng số liệu độ dài l tương ứng của cột khí trong xilanh khi có cộng hưởng âm lần đầu.

Tính $\overline{l}$ và $\Delta l = \frac{l_{max} - l_{min}}{2}$, rồi ghi vào bảng số liệu.

– Dịch chuyển pittông ra xa hơn đầu hở của xilanh và lắng nghe âm phát ra để xác định độ dài l' của cột khí trong xilanh khi có cộng hưởng âm lần thứ hai.

Lặp lại bước thí nghiệm này bốn lần để xác định l' tương ứng, rồi tính $\Delta l'$, và ghi vào bảng số liệu.

– Tính $\overline{\lambda} = 2(\overline{l'} - \overline{l})$ và $\Delta\lambda = 2(\Delta l' + \Delta l)$.

– Biết tần số của âm phát ra từ âm thoa, tính $\overline{v} = \overline{\lambda}\,\overline{f}$ và $\Delta v = \overline{v}\left(\frac{\Delta\lambda}{\overline{\lambda}} + \frac{\Delta f}{\overline{f}}\right)$, rồi ghi vào báo cáo thí nghiệm.

b) Phương án 2

• Dụng cụ thí nghiệm

– Ống nhựa trong suốt *A* dài 60 cm, đường kính 3 ÷ 4 cm, được bịt kín một đầu bằng nút cao su có cắm một đoạn ống nhôm.

– Bình nhựa *B* có thể tích khoảng một lít, có cắm xuyên qua đáy một đoạn ống nhôm.

– Ống nhựa mềm dài 80 cm, đường kính khoảng 1 cm, dùng để nối thông ống *A* với bình *B* bằng cách nối vào hai đoạn ống nhôm ở trên.

– Nguồn âm : máy phát âm tần phát ra được âm dạng sin có f_1 = 440 Hz ±10 Hz, f_2 = 880 Hz ± 20 Hz và được nối với một loa nhỏ, hoặc âm thoa *la* có tần số f = 440 Hz và búa gõ âm thoa bằng cao su.

– Thước chia đến milimét.

– Giá đỡ ống *A*, bình *B* và nguồn âm.

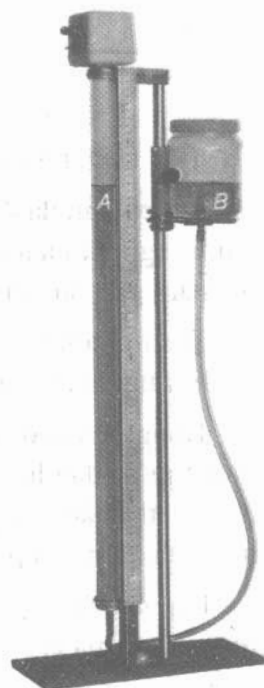
• Tiến trình thí nghiệm

– Nối ống *A* với bình *B* nhờ ống nhựa mềm, rồi lắp chúng và nguồn âm lên giá sao cho nguồn âm sát vào đầu hở của ống *A* (Hình 20.3).

– Hạ bình *B* xuống vị trí thấp nhất và đổ nước vào gần đầy bình. Nâng bình lên cao để nước dâng lên gần sát đầu trên của ống *A*.

– Cho nguồn âm phát ra âm với f_1 = 440 Hz. Hạ dần bình *B* xuống để tăng dần độ dài của cột khí trong ống *A*. Lắng nghe âm phát ra để xác định và ghi vào bảng số liệu độ dài l của cột khí trong ống *A* khi thấy âm to nhất.

– Lặp lại bước thí nghiệm này bốn lần để xác định và ghi vào bảng số liệu độ dài l tương ứng của cột khí khi có cộng hưởng âm lần đầu.



Hình 20.3 Dụng cụ xác định tốc độ truyền âm phát ra từ máy phát âm tần.

– Tính $\bar{l}$, Δl và ghi vào bảng số liệu.

– Tiếp tục hạ bình B xuống thấp cho tới khi có cộng hưởng âm lần thứ hai. Xác định độ dài l' của cột khí và ghi vào bảng số liệu.

– Tiến hành bước thí nghiệm này thêm bốn lần để xác định l' và ghi vào bảng số liệu.

Tính và ghi vào bảng số liệu $\overline{l'}$, $\Delta l'$.

– Tính $\bar{\lambda}$, $\Delta\lambda$, $\bar{v}$, Δv với tần số của âm phát ra là $f_1 = 440$ Hz $\pm$ 10 Hz.

– Tiến hành thí nghiệm ứng với tần số của âm phát ra từ nguồn âm là $f_2 = 880$ Hz $\pm$ 20 Hz.

4. Báo cáo thí nghiệm

a) Mục đích thí nghiệm.

b) Cơ sở lí thuyết.

c) Tiến trình thí nghiệm.

d) Kết quả thí nghiệm.

• ***Phương án 1***

Bảng 20.1

Độ dài cột không khí	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Lần 5	Giá trị trung bình	Sai số tuyệt đối
Khi có cộng hưởng âm lần đầu : l (cm)							
Khi có cộng hưởng âm lần hai : l' (cm)							

$\overline{\lambda} = 2(\overline{l'} - \overline{l}) = ...$ $\Delta\lambda = 2(\Delta l' + \Delta l) = ...$

$f = 440 \text{ Hz} \pm 10 \text{ Hz}$ $\overline{v} = \overline{\lambda}\,\overline{f} = ...$

$\Delta v = \overline{v}\left(\dfrac{\Delta\lambda}{\overline{\lambda}} + \dfrac{\Delta f}{\overline{f}}\right) = ...$ $v = \overline{v} \pm \Delta v = ...$

• ***Phương án 2***

Lập các bảng số liệu và tính toán như phương án 1 ứng với các tần số của âm phát ra từ nguồn âm $f_1 = 440$ Hz ± 10 Hz và $f_2 = 880$ Hz ± 20 Hz.

e) Nhận xét.

CÂU HỎI

1. Trong hai phương án thí nghiệm trên có điểm gì giống nhau và khác nhau về cơ sở lí thuyết ? Hãy giải thích.
2. Trong phương án 2, nếu dùng bình *B* có thể tích rất nhỏ thì kết quả thí nghiệm sẽ như thế nào ? Vì sao ?

BÀI TẬP

1. Vì sao trong các thí nghiệm đã tiến hành, việc xác định bước sóng của âm lại dựa vào việc tìm độ dài của cột khí trong ống khi nghe thấy âm to nhất mà không phải là khi không nghe thấy âm ?
2. Để xác định tốc độ truyền âm trong không khí, ta có thể chỉ làm thí nghiệm tìm độ dài *l* của cột khí trong ống khi có cộng hưởng âm lần đầu, rồi tính bước sóng của âm theo công thức $\lambda = 4l$ được không ?

TÓM TẮT CHƯƠNG III

1. Sóng cơ là dao động cơ lan truyền trong một môi trường.

• Trong sóng ngang, các phần tử của môi trường dao động theo phương vuông góc với phương truyền sóng.

• Trong sóng dọc, các phần tử của môi trường dao động cùng phương với phương truyền sóng.

2. Phương trình sóng cho biết li độ của mỗi phần tử sóng theo thời gian và toạ độ của điểm đó.

• Phương trình sóng có dạng : $u(x,t) = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]$ (1)

hay dạng tương đương : $u(x,t) = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$ (2)

• Dựa vào phương trình sóng có thể nêu được ý nghĩa của các đại lượng đặc trưng của sóng : biên độ sóng (A), chu kì sóng (T), tần số sóng (f), bước sóng (λ), tốc độ truyền sóng (v).

• Phương trình (2) cho thấy sóng có tính tuần hoàn theo thời gian và theo không gian.

3. Sóng dừng

• Trên một sợi dây đàn hồi, sóng tới và sóng phản xạ ở một đầu dây truyền ngược chiều nhau sẽ tạo thành những nút (có biên độ bằng 0) và những bụng (có biên độ cực đại) có vị trí không đổi xen kẽ nhau. Đó là sóng dừng. Khoảng cách giữa hai nút (hay hai bụng) liên tiếp bằng $\frac{\lambda}{2}$.

• Điều kiện để có sóng dừng trên dây đàn hồi hai đầu cố định là độ dài l của dây bằng một số nguyên lần nửa bước sóng :

$$l = n\frac{\lambda}{2} \quad \text{với } n = 1, 2, 3,...$$

Hai đầu cố định là hai nút.

Điều kiện để có sóng dừng trên dây đàn hồi một đầu cố định, một đầu tự do là độ dài l của dây bằng một số lẻ lần một phần tư bước sóng :

$$l = m\frac{\lambda}{4} \text{ với } m = 1, 3, 5,...$$

Đầu cố định là nút, đầu tự do là bụng.

4. Giao thoa sóng

• Hiện tượng hai sóng kết hợp (có cùng tần số và có hiệu số pha không đổi) gặp nhau tại những điểm xác định luôn luôn tăng cường lẫn nhau (biên độ cực đại) hoặc làm yếu lẫn nhau (biên độ cực tiểu) gọi là hiện tượng giao thoa sóng.

• Điều kiện để có giao thoa sóng là hai sóng phải là hai sóng kết hợp (có cùng tần số và hiệu số pha không đổi) và dao động cùng phương.

• Tại những điểm có hiệu đường đi đến các tâm phát sóng là một số nguyên bước sóng thì biên độ dao động là cực đại (vì tại đó hai dao động do hai sóng truyền tới đồng pha) :

$$d_2 - d_1 = k\lambda \text{ với } k = 0, \pm1, \pm2,...$$

Tại những điểm có hiệu đường đi đến các tâm phát sóng là một số bán nguyên lần bước sóng thì biên độ dao động là cực tiểu (vì tại đó hai dao động do hai sóng truyền tới ngược pha) :

$$d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ với } k = 0, \pm1, \pm2,...$$

Trên mặt nước, khi có giao thoa, quỹ tích của những điểm có biên độ cực đại hay cực tiểu là những đường hypebol xen kẽ được gọi là vân giao thoa.

5. Sóng âm

• Sóng âm là những sóng cơ truyền trong các môi trường khí, lỏng, rắn.

• Trong không khí, sóng âm là sóng dọc, do không khí xung quanh nguồn âm bị dãn, nén tạo thành.

• Những kết luận về sóng cơ ở trên đều có thể áp dụng cho sóng âm (phương trình sóng, các đại lượng đặc trưng của sóng, sóng dừng, giao thoa, nhiễu xạ, phản xạ, khúc xạ).

• Các đặc trưng vật lí (tần số, cường độ, dạng đồ thị, năng lượng) và đặc trưng sinh lí của âm (độ cao, độ to, âm sắc, giới hạn nghe) có quan hệ chặt chẽ với nhau.

– Độ cao của âm tăng theo tần số của âm.

– Độ to của âm tăng theo cường độ âm.

Mức cường độ âm L dùng để so sánh độ to của âm nghe được có cường độ I với độ to của âm chuẩn có cường độ I_0, được định nghĩa theo công thức :

$$L(\text{dB}) = 10\lg\frac{I}{I_0}$$

Âm chuẩn là âm có cường độ I_0 nhỏ nhất mà tai người có thể nghe được ứng với $L = 0$ dB.

Âm có cường độ cực đại mà tai người có thể nghe được ứng với $L = 130$ dB.

– Âm sắc : phụ thuộc dạng đồ thị dao động của âm.

6. Nguồn nhạc âm

- Nguồn nhạc âm thường gặp là đàn dây và kèn hơi (như ống sáo).
- Khi phát ra âm, dây đàn và cột khí trong ống sáo đều tạo ra sóng dừng.

Với dây đàn hai đầu cố định, có sóng dừng khi độ dài l của dây thoả mãn điều kiện :

$$l = n\frac{\lambda}{2} \text{ với } n = 1, 2, 3,...$$

– Với $n = 1$, ta có âm cơ bản ứng với tần số $f = \frac{v}{2l}$.

– Với $n = 2, 3,...$, ta có các hoạ âm bậc 2, bậc 3,... ứng với các tần số $f' = nf$.

7. Hộp cộng hưởng

Hộp cộng hưởng thường là một hộp rỗng có một đầu hở ; khi cột khí trong hộp dao động với một tần số phù hợp với kích thước của hộp thì trong hộp xảy ra sóng dừng và cường độ âm được tăng lên rõ rệt, ta gọi là có cộng hưởng âm.

Mỗi hộp đàn có hình dạng và kích thước khác nhau có thể cộng hưởng với một số hoạ âm nhất định, tạo ra một âm tổng hợp có âm sắc riêng.

8. Hiệu ứng Đốp-ple

- Khi có chuyển động tương đối giữa nguồn phát ra âm và máy thu âm thì âm thu được có tần số khác với âm phát ra (tăng hay giảm). Đó là hiệu ứng Đốp-ple.
- Công thức liên hệ giữa tần số âm thu được f' và tần số âm do nguồn phát ra là :

$$f' = \frac{v \pm v_M}{v \mp v_S} f$$

trong đó : v (tốc độ truyền âm), v_M (tốc độ máy thu), v_S (tốc độ nguồn âm) đều được xác định đối với môi trường và $v_M < v$, $v_S < v$.

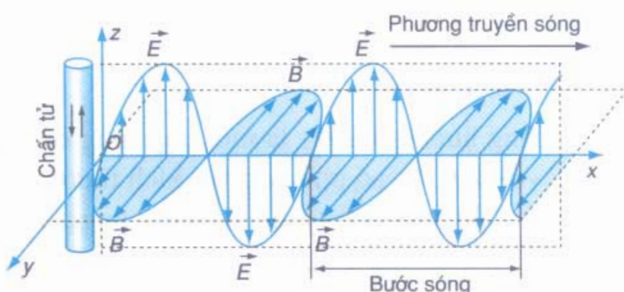
Khi nguồn âm và máy thu chuyển động lại gần nhau thì tần số âm thu được tăng, nếu chúng ra xa nhau thì tần số âm thu được giảm.

CHƯƠNG IV

DAO ĐỘNG VÀ SÓNG ĐIỆN TỪ



Anten của Đài phát thanh và truyền hình Hà Nội.



Sự lan truyền của sóng điện từ.

Chương này trình bày các kiến thức về :

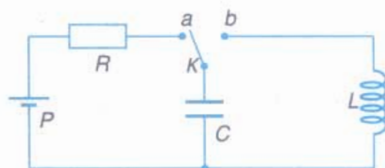
- Dao động và sóng điện từ, sự tương tự của chúng với dao động và sóng cơ.
- Dao động điện từ tự do, dao động tắt dần, hệ tự dao động, dao động cưỡng bức và cộng hưởng điện.
- Điện từ trường, sóng điện từ và nguyên tắc truyền thông bằng sóng điện từ.

21 DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ

1. Dao động điện từ trong mạch LC

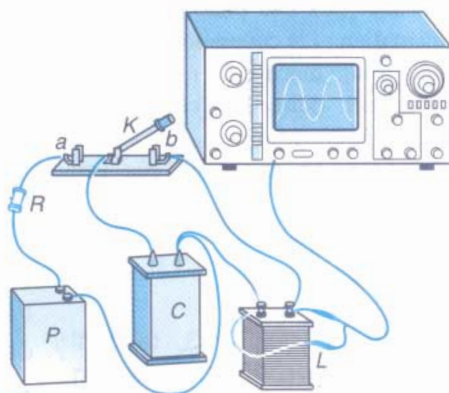
a) Thí nghiệm

Mạch điện Hình 21.1 gồm tụ điện C, cuộn cảm L, pin P và chuyển mạch K. Điện trở R được dùng để hạn chế dòng điện nạp. Đầu tiên chuyển K sang a để nạp điện cho tụ điện C từ pin P. Sau đó chuyển K sang b để tụ điện C phóng điện trong mạch kín LC.



Hình 21.1 *Sơ đồ mạch dao động.*

Nối hai đầu cuộn cảm L với lối vào của dao động kí điện tử như Hình 21.2. Điều chỉnh dao động kí để có hình ổn định trên màn, ta sẽ thấy một đồ thị dạng sin.

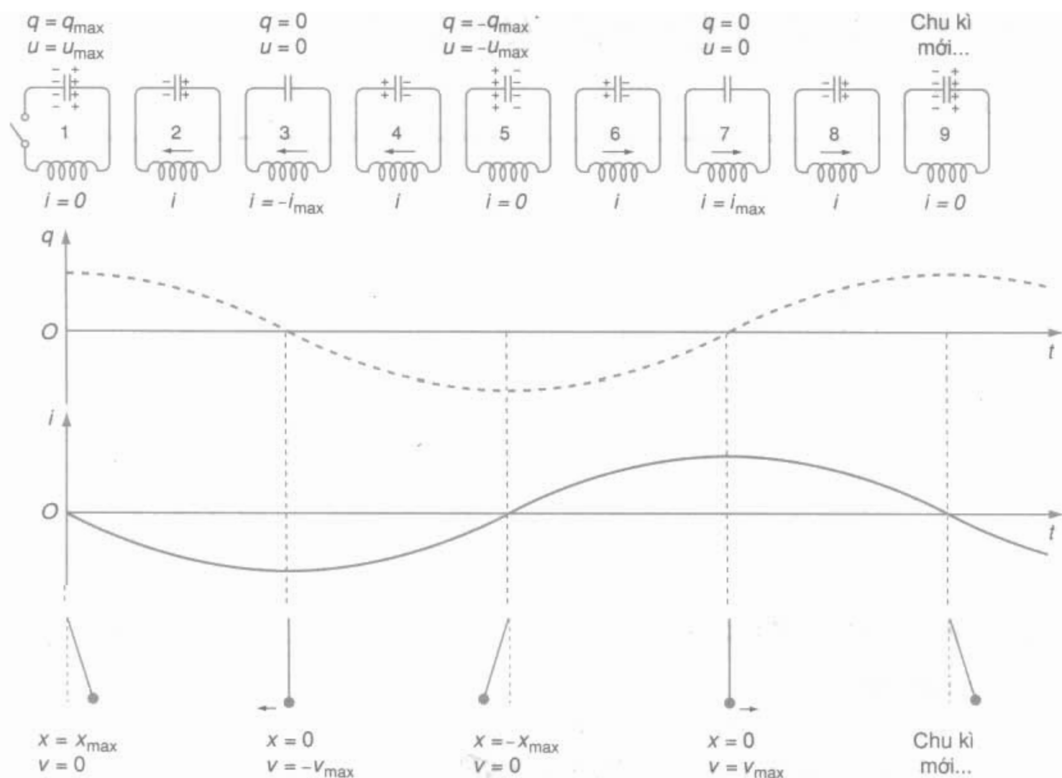


Hình 21.2 *Mạch dao động LC mắc với dao động kí điện tử.*

Từ đó, có thể nhận xét là trong mạch kín LC đã có một dòng điện dạng sin rất giống đồ thị dạng sin của dao động cơ đã biết. Mạch LC được gọi là *mạch dao động* (hoặc còn gọi là *khung dao động*).

b) Giải thích

Hình 21.3 cho thấy từng giai đoạn của quá trình dao động điện và từ của mạch LC và dao động cơ của con lắc đơn.



Hình 21.3 Dao động điện từ của mạch LC và dao động của con lắc đơn.

Trên Hình 21.3 : q là điện tích bản bên phải của tụ điện ; u là hiệu điện thế giữa bản phải và bản trái của tụ điện ; i là cường độ dòng điện chạy trong mạch LC, i có giá trị dương nếu dòng điện chạy ngược chiều kim đồng hồ ; x là li độ và v là vận tốc trong dao động của con lắc đơn.

C1 Trong Hình 21.3, tại thời điểm nào thì từ trường của ống dây có giá trị lớn nhất ? Giá trị nhỏ nhất ?

Khi K chuyển sang b, tụ điện C đang tích điện sẽ phóng điện qua L, ban đầu dòng điện tăng gây ra hiện tượng tự cảm với $e = -L\dfrac{di}{dt}$. Suất điện động tự cảm làm chậm sự phóng điện của tụ điện, và khi tụ điện hết điện tích thì dòng tự cảm lại nạp điện cho tụ điện, làm cho tụ điện lại được tích điện nhưng theo chiều ngược lại. Sau đó, tụ điện lại phóng điện theo chiều ngược với ban đầu. Hiện tượng sẽ lặp đi lặp lại tạo thành dao động điện và dao động từ trong mạch.

Quá trình dao động điện và từ trong mạch LC tương tự như dao động của con lắc đơn.

c) Khảo sát định lượng

Vận dụng định luật Ôm cho đoạn mạch AB, ta có :

$$u_{AB} = e - ri$$

với $r \approx 0$ thì $u_{AB} \approx e = -L\dfrac{di}{dt}$.

Với quy ước về dấu như trên Hình 21.4, thì $i = \dfrac{dq}{dt} = q'$. Ta lại có $u_{AB} = \dfrac{q}{C}$, nên :

$$\frac{q}{C} = -Lq'' \text{ hay } q'' + \frac{q}{LC} = 0$$

Đặt $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$, ta có phương trình :

$$q'' + \omega^2 q = 0 \qquad (21.1)$$

Tương tự như ở phần dao động cơ, nghiệm của phương trình này có dạng :

$$q = q_0\cos(\omega t + \varphi) \qquad (21.2)$$

Từ đó :

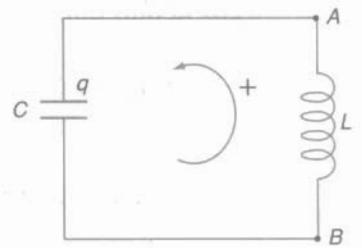
$$i = q' = -\omega q_0 \sin(\omega t + \varphi) \qquad (21.3)$$

$$u_{AB} = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C}\cos(\omega t + \varphi) \qquad (21.4)$$

Các phương trình (21.2), (21.3), (21.4) cho thấy các đại lượng điện q, i, u đều biến thiên tuần hoàn theo quy luật dạng sin.

Ta đã biết, khi có dòng điện thì luôn có từ trường, mà cảm ứng từ B luôn tỉ lệ thuận với cường độ dòng điện, nên có thể suy ra từ trường trong cuộn cảm L cũng biến thiên tuần hoàn theo quy luật dạng sin. Trong tụ điện C, điện trường cũng biến thiên tuần hoàn theo quy luật dạng sin.

Biến thiên của điện trường và từ trường ở trong mạch trên được gọi là *dao động điện từ*. Nếu không có tác động điện hoặc từ với bên ngoài, thì dao động điện từ này



Hình 21.4. Mạch dao động dùng để khảo sát định lượng dao động điện.

Quy ước :

q là giá trị điện tích của bản cực bên trên.

$i > 0$, nếu dòng điện chạy qua cuộn cảm cùng chiều với chiều dương được chọn trong mạch.

Có thể viết phương trình dao động điện và từ trong mạch LC như sau :

$q = q_0\cos(\omega t + \varphi)$

$u = U_0\cos(\omega t + \varphi)$

$i = I_0\cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$

$B = B_0\cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$

C2 Pha dao động của u và i có trùng nhau không ? Vì sao ?

gọi là *dao động điện từ tự do*. Khi đó mạch LC có các đặc trưng *riêng* là :

– Tần số góc riêng : $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ (21.5)

– Chu kì riêng : $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC}$ (21.6)

– Tần số riêng : $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (21.7)

2. Năng lượng điện từ trong mạch dao động

Nếu không có sự tiêu hao năng lượng thì trong quá trình dao động điện từ, năng lượng được tập trung ở tụ điện (W_C) và cuộn cảm (W_L). Tại một thời điểm bất kì, ta có :

Năng lượng điện trường tập trung trong tụ điện :

$$W_C = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{q_0^2}{2C}\cos^2(\omega t + \varphi)$$

Năng lượng từ trường tập trung trong cuộn cảm :

$$W_L = \frac{1}{2}Li^2 = \frac{L\omega^2 q_0^2}{2}\sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{q_0^2}{2C}\sin^2(\omega t + \varphi)$$

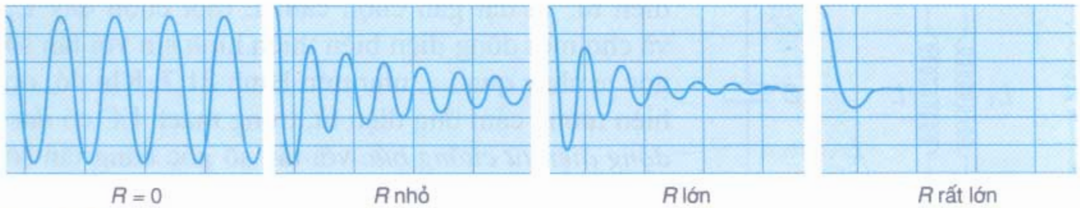
Ta suy ra năng lượng điện từ toàn phần của mạch LC là :

$$W = W_C + W_L = \frac{q_0^2}{2C} = \text{hằng số} \quad (21.8)$$

Vậy, ***trong quá trình dao động của mạch, năng lượng từ trường và năng lượng điện trường luôn chuyển hoá cho nhau, nhưng tổng năng lượng điện từ là không đổi.***

3. Dao động điện từ tắt dần

Trong các mạch dao động thực luôn có tiêu hao năng lượng, ví dụ do điện trở thuần R của dây dẫn, vì vậy dao động sẽ dừng lại sau khi năng lượng bị tiêu hao hết. Quan sát trên dao động kí điện tử (Hình 21.5) ta thấy biên độ của dao động giảm dần đến 0. Hiện tượng này gọi là dao động điện từ tắt dần. Giá trị của R càng lớn thì sự tắt dần càng nhanh, thậm chí nếu R rất lớn thì không có dao động.

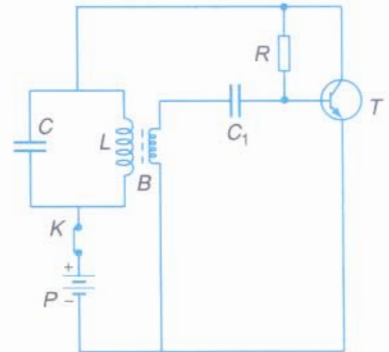


Hình 21.5 Các hình ảnh trên màn hình dao động kí.

4. Dao động điện từ duy trì. Hệ tự dao động

Muốn duy trì dao động, ta phải bù đủ và đúng phần năng lượng bị tiêu hao trong mỗi chu kì. Muốn làm việc này, có thể dùng tranzito để điều khiển việc bù năng lượng từ pin cho mạch dao động *LC* ăn nhịp với từng chu kì dao động của mạch.

Trong sơ đồ Hình 21.6, mạch điện duy trì dao động cho mạch *LC*, gồm có biến thế *B* chuyển các dao động của mạch *LC* tác động vào cực gốc của tranzito qua tụ điện C_1. Tác động này điều khiển sự đóng mở của tranzito sao cho dòng điện từ pin *P bổ sung* cho mạch *LC* đúng với phần năng lượng bị mất trong từng chu kì. Dao động trong mạch *LC* được duy trì ổn định với tần số riêng ω_0 của mạch. Người ta gọi đây là một *hệ tự dao động*.



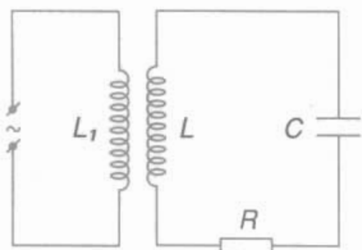
Hình 21.6 Mạch duy trì dao động

C3 Trong sơ đồ mạch duy trì dao động, nếu nối trực tiếp cuộn thứ cấp biến thế với cực gốc của tranzito không qua tụ điện C_1 có được không, tại sao ?

C4 Trong sơ đồ trên, có thể tính tần số dao động riêng của mạch dao động theo công thức $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ được không ? Tại sao ?

5. Dao động điện từ cưỡng bức. Sự cộng hưởng

Xét một mạch dao động LC với R là điện trở thuần của cuộn cảm. Nếu ta tích điện cho tụ điện và để cho mạch dao động, thì dao động sẽ tắt dần. Nếu R rất nhỏ thì tần số dao động của mạch xấp xỉ bằng tần số dao động riêng $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$



Hình 21.7 Mạch dao động cưỡng bức.

Giả sử trong mạch LC đang không có dao động điện từ. Ta đặt gần cuộn cảm L một cuộn dây L_1 và cho một dòng điện biến thiên hình sin với tần số góc ω chạy qua L_1, như trên Hình 21.7. Khi đó, do hiện tượng cảm ứng điện từ, trong mạch LC có *dao động điện từ cưỡng bức* với tần số góc bằng tần số góc ω của dòng điện trong cuộn L_1.

Nếu ta giữ cho biên độ của dòng điện trong cuộn L_1 (gọi là dòng điện ngoài) không đổi, nhưng thay đổi tần số góc ω của nó, thì biên độ của dòng điện trong mạch LC đạt cực đại khi tần số góc của dòng điện ngoài (gần đúng) bằng tần số góc riêng của mạch dao động. Đó là *hiện tượng cộng hưởng*.

Hiện tượng cộng hưởng càng rõ nếu điện trở R càng nhỏ.

Hiện tượng cộng hưởng được ứng dụng rất nhiều trong các mạch lọc, mạch chọn sóng, mạch khuếch đại,...

6. Sự tương tự giữa dao động điện từ và dao động cơ

Từ các nội dung trên, ta thấy giữa dao động điện từ trong mạch *LC* và dao động cơ của con lắc có nhiều điểm tương tự về quy luật biến đổi theo thời gian và các đại lượng (Bảng 21.1). Các phương trình và công thức biểu thị hai loại dao động có cùng một dạng (Bảng 21.2).

Bảng 21.1

Đại lượng cơ	Đại lượng điện
x	q
v	i
m	L
k	$\frac{1}{C}$
F	u
μ	R
W_t	W_C
$W_đ$	W_L

Bảng 21.2

Dao động cơ	Dao động điện
$x'' + \omega^2 x = 0$	$q'' + \omega^2 q = 0$
với $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	với $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
$x = A\cos(\omega t + \varphi)$	$q = q_0\cos(\omega t + \varphi)$
$v = x' = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$	$i = q' = -\omega q_0\sin(\omega t + \varphi)$
$W = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2$	$W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}\frac{q_0^2}{C}$

Sự đồng nhất về dạng này không chỉ là hình thức, mà là sự đồng nhất về quy luật biến đổi theo thời gian. Điều đó dẫn đến một loạt các đặc tính tương tự của hai loại dao động đó như : tính tuần hoàn, chu kì riêng, tần số riêng, bảo toàn và chuyển hoá năng lượng, sự tắt dần, việc duy trì dao động, sự cộng hưởng,...

CÂU HỎI

1. Tại sao người ta lại coi độ tự cảm trong dao động điện từ tương đương với khối lượng trong dao động cơ ?
2. Để duy trì dao động trong mạch LC, bạn Mai đã mắc thêm một pin nối tiếp vào mạch nhằm liên tục bổ sung điện năng cho mạch. Giải pháp này có duy trì được dao động không ? Tại sao ?

BÀI TẬP

1. Trong bảng phân tích dao động theo từng thời điểm trên Hình 21.3, ta có :

   A. Năng lượng điện trường cực đại tại thời điểm số 2.

   B. Năng lượng từ trường cực đại tại thời điểm số 4.

   C. Năng lượng điện trường cực đại tại thời điểm số 6.

   D. Năng lượng từ trường cực đại tại thời điểm số 7.

2. Dao động điện từ trong mạch dao động LC là quá trình

   A. biến đổi không tuần hoàn của điện tích trên tụ điện.

   B. biến đổi theo hàm mũ của cường độ dòng điện.

   C. chuyển hoá tuần hoàn giữa năng lượng từ trường và năng lượng điện trường.

   D. bảo toàn hiệu điện thế giữa hai cực tụ điện.

3. Trong một mạch dao động LC, tụ điện có điện dung là 5 μF, cường độ tức thời của dòng điện là $i = 0{,}05\sin 2000t$ (A). Tìm độ tự cảm của cuộn cảm và biểu thức cho điện tích của tụ điện.
4. Một mạch dao động LC có năng lượng là 36.10^{-6} J và điện dung của tụ điện C là 2,5 μF. Tìm năng lượng tập trung tại cuộn cảm khi hiệu điện thế giữa hai bản cực của tụ điện là 3 V.

22 BÀI TẬP VỀ DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ

Bài tập 1

Một mạch dao động LC có tụ điện 25 pF và cuộn cảm 10^{-4} H. Biết ở thời điểm ban đầu của dao động, cường độ dòng điện có giá trị cực đại và bằng 40 mA. Tìm biểu thức của cường độ dòng điện, của điện tích trên bản cực của tụ điện và biểu thức của hiệu điện thế giữa hai bản cực của tụ điện.

Bài giải

Ta có : $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} = 2.10^7$ rad/s.

Biểu thức của dòng điện : $i = I_0\cos(\omega t + \varphi)$.

Vì lúc $t = 0$, $i = I_0 = 40$ mA $= 4.10^{-2}$ A nên $\varphi = 0$, do đó :

$$i = 4.10^{-2}\cos(2.10^7 t) \text{ (A)}$$

Điện tích trên bản cực của tụ điện biến thiên chậm pha hơn dòng điện $\dfrac{\pi}{2}$, nên :

$$q = q_0\cos\left(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{2}\right) = q_0\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

suy ra :

$$q = q_0\sin\omega t$$

Vì $q_0 = \dfrac{I_0}{\omega} = 2.10^{-9}$C, nên biểu thức của điện tích là :

$$q = 2.10^{-9}\sin(2.10^7 t) \text{ (C)}$$

Biểu thức của hiệu điện thế :

$$u = \frac{q}{C} = 80\sin(2.10^7 t) \text{ (V)}$$

Bài tập 2

Mạch dao động gồm một tụ điện $C = 50$ μF và một cuộn dây có độ tự cảm $L = 5$ mH.

a) Hãy tính năng lượng toàn phần của mạch điện và điện tích cực đại trên bản cực của tụ điện khi hiệu điện thế (điện áp) cực đại giữa hai bản cực của tụ điện bằng 6 V. Hãy tính năng lượng điện trường, năng lượng từ trường và cường độ dòng điện trong mạch ở thời điểm mà hiệu điện thế giữa hai bản cực của tụ điện bằng 4 V. Coi điện trở thuần của cuộn dây không đáng kể.

b) Nếu cuộn dây có điện trở thuần $R = 0,1\ \Omega$, muốn duy trì dao động điều hoà trong mạch với hiệu điện thế cực đại trên tụ điện vẫn bằng 6 V thì phải bổ sung cho mạch một năng lượng có công suất bằng bao nhiêu ?

Bài giải

a) Năng lượng toàn phần của mạch dao động bằng năng lượng cực đại của điện trường ở tụ điện :

$$W = \frac{CU_0^2}{2} = 9.10^{-4}\,\text{J}$$

Điện tích cực đại trên bản cực của tụ điện là :

$$q_{max} = q_0 = CU_0 = 3.10^{-4}\,\text{C}$$

Khi hiệu điện thế trên tụ điện là 4 V, năng lượng điện trường là :

$$W_C = \frac{1}{2}Cu^2 = 4.10^{-4}\,\text{J}$$

Còn năng lượng từ trường bằng :

$$W_L = W - W_C = 5.10^{-4}\,\text{J}$$

Ta biết $W_L = \frac{1}{2}Li^2$, từ đó :

$$i = \sqrt{\frac{2W_L}{L}} \approx 0,45\,\text{A}$$

b) Vì có điện trở thuần nên dao động trong mạch tắt dần do toả nhiệt ở điện trở. Để duy trì dao động điều hoà phải bổ sung cho mạch một năng lượng có công suất đủ bù vào phần năng lượng hao phí do toả nhiệt (hiệu ứng Jun) trên điện trở, phần này có công suất $\mathcal{P} = RI^2$.

Khi đã cung cấp năng lượng đó, ta có :

$$\frac{1}{2}CU_0^2 = \frac{1}{2}LI_0^2$$

suy ra $CU^2 = LI^2$, với $U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$ và $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ là các giá trị hiệu dụng (sẽ học ở chương V).

Từ đó :

$$I^2 = \frac{C}{L}U^2$$

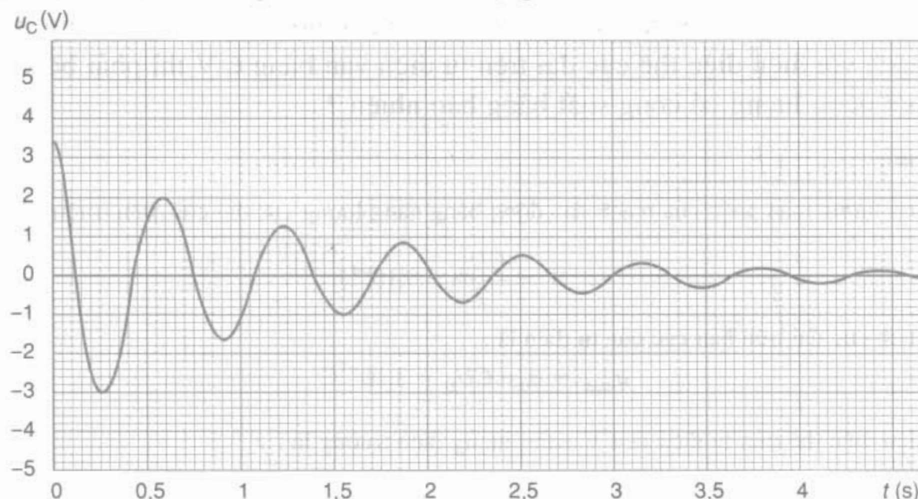
và

$$\mathcal{P} = RI^2 = \frac{CR}{L}U^2 = \frac{CRU_0^2}{2L}$$

Thay số, ta được : $\mathscr{P} \approx 1,8.10^{-2}$ W.

Bài tập 3

Hình 22.1 cho thấy sự biến thiên theo thời gian của hiệu điện thế giữa hai cực của tụ điện có điện dung C, trong một mạch dao động LC.



Hình 22.1 *Đồ thị biến thiên của u_C theo thời gian t.*

Từ Hình 22.1, một bạn học sinh có các nhận xét sau :

A. Đây là một dao động điện có biên độ giảm dần đều sau mỗi chu kì.

B. Năng lượng điện trường ban đầu là 4,5C (J).

C. Tại thời điểm $t = 3$ s thì năng lượng từ trường trong cuộn dây qua một cực đại.

D. Tần số riêng của dao động điện từ này là cỡ 2,5 Hz.

Hãy cho biết nhận xét nào đúng.

Hướng dẫn

Đáp án đúng là C, vì :

A. Đây là một dao động tắt dần, nhưng sự tắt dần là không đều. Quan sát kĩ biên độ của vài chu kì đầu tiên, ta thấy biên độ bị giảm sau mỗi chu kì lần lượt là 1,4 V (giảm 46%) ; 0,6 V (giảm 37%) ; 0,3 V (giảm 33%) ;...

B. Điện năng 4,5C (J) là ở thời điểm $t = 0,25$ s chứ không phải ở $t = 0$.

C. Khi $t = 3$ s thì $W_C = 0$, suy ra tại thời điểm đó W_L đạt giá trị cực đại (đáp án đúng).

D. Từ đồ thị, ta thấy T cỡ 0,6 s, suy ra f cỡ 1,6 Hz.

23 ĐIỆN TỪ TRƯỜNG

Ta đã biết một số loại trường là trọng trường, điện trường, từ trường. Ở đây ta sẽ biết thêm một loại trường nữa ; đó là điện từ trường, một loại trường có ứng dụng rất lớn trong đời sống.

1. Liên hệ giữa điện trường biến thiên và từ trường biến thiên

a) Trong thí nghiệm về cảm ứng điện từ đã biết (Hình 23.1), khi nam châm rơi qua một ống dây, thì từ thông qua các vòng dây dẫn biến thiên. Vì mạch kín, nên trong ống dây có dòng điện cảm ứng. Như vậy, rõ ràng là các êlectron trong dây dẫn đã bị một lực nào đó tác dụng làm chuyển động có hướng, lực đó phải là *lực điện* của một điện trường mới xuất hiện, mà trước khi từ thông biến thiên thì nó chưa có !



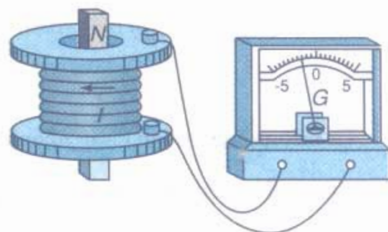
MẮC-XOEN
(James Clerk Maxwell,
1831 - 1879,
nhà vật lí người Anh)

Cần lưu ý rằng vai trò của các vòng dây ở đây chỉ là giúp ta nhận biết điện trường mà thôi. Thực ra, nếu như không có các vòng dây dẫn thì điện trường ấy vẫn xuất hiện trong suốt thời gian từ thông biến thiên.

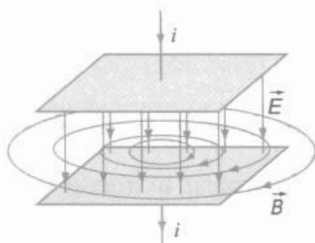
Điện trường này có một đặc điểm là đường sức của nó không có điểm khởi đầu và cũng không có điểm kết thúc như đường sức của điện trường tĩnh (đã học ở lớp 11) mà là đường cong kín. Để phân biệt, người ta gọi nó là *điện trường xoáy.*

Phân tích bản chất của hiện tượng trên, Mắc-xoen cho rằng :

Trong vùng không gian có từ trường biến thiên theo thời gian thì trong vùng đó xuất hiện một điện trường xoáy.



Hình 23.1 *Nam châm rơi qua ống dây.*



Hình 23.2 Điện trường biến thiên giữa hai bản tụ điện và từ trường do nó sinh ra (trường hợp tụ điện đang tích điện, điện trường đang tăng).

Theo Mắc-xoen, sự biến thiên của điện trường tương đương với một dòng điện, được ông gọi là *dòng điện dịch*. Chính dòng điện này gây ra từ trường.

Nói khác đi, *từ trường biến thiên theo thời gian làm xuất hiện điện trường xoáy.*

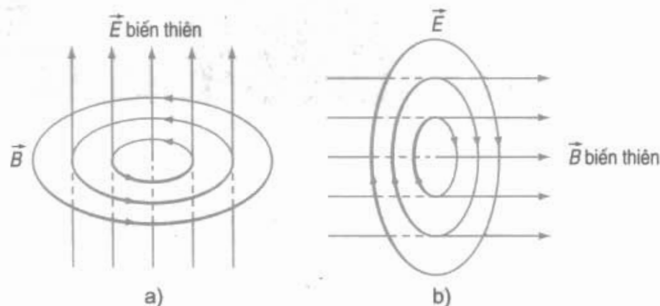
b) Ta có thể đặt câu hỏi : Liệu điện trường biến thiên theo thời gian có làm xuất hiện từ trường hay không ? Mắc-xoen cho rằng quá trình này cũng xảy ra trong tự nhiên, tức là điện *trường biến thiên theo thời gian sẽ làm xuất hiện từ trường*. Các đường sức của từ trường này bao quanh các đường sức của điện trường (vì từ trường là trường xoáy, có các đường sức luôn khép kín).

Thí nghiệm sau đó đã chứng tỏ giả thuyết của Mắc-xoen là đúng. Khi một tụ điện đang tích điện hay phóng điện, thì giữa hai bản của tụ điện có một điện trường biến thiên. Điện trường biến thiên này sinh ra một từ trường (Hình 23.2).

2. Điện từ trường

Kết hợp hai nhận định trên, Mắc-xoen đã đưa ra kết luận là điện trường và từ trường có liên quan chặt chẽ với nhau (Hình 23.3) :

Mỗi biến thiên theo thời gian của từ trường đều sinh ra trong không gian xung quanh một điện trường xoáy biến thiên theo thời gian, và ngược lại, mỗi biến thiên theo thời gian của điện trường cũng sinh ra một từ trường biến thiên theo thời gian trong không gian xung quanh.



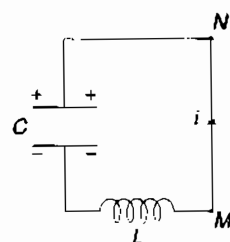
Hình 23.3 a) Điện trường biến thiên gây ra từ trường biến thiên ; b) Từ trường biến thiên gây ra điện trường xoáy.

Từ trường biến thiên càng nhanh (tức là $\frac{d\vec{B}}{dt}$ càng lớn) thì cường độ điện trường xoáy $\vec{E}$ càng lớn. Điện trường biến thiên càng nhanh ($\frac{d\vec{E}}{dt}$ càng lớn) thì cảm ứng từ $\vec{B}$ càng lớn.

Như vậy, điện trường biến thiên và từ trường biến thiên cùng tồn tại trong không gian. Chúng cùng biến đổi trong một trường thống nhất được gọi là *điện từ trường*.

Trong thực tế, khi ta nói tới điện trường hay từ trường thì chỉ là xét tới từng mặt của một chỉnh thể là điện từ trường mà thôi, không có sự tồn tại riêng biệt của điện trường hay từ trường.

Lưu ý rằng ở lớp 11 ta chỉ xét điện trường của các điện tích đứng yên so với người quan sát, gọi là điện trường tĩnh. Ta cũng chỉ xét từ trường của dòng điện không đổi chạy trong dây dẫn đứng yên, hoặc của nam châm đứng yên so với người quan sát.



Hình 23.4

C1 Các đường sức từ ở bên trong tụ điện và ở quanh dây dẫn trên Hình 23.4 có chiều như thế nào khi dòng điện *i* trong dây dẫn có chiều như hình vẽ ?

CÂU HỎI

1. Điện từ trường khác điện trường, từ trường ở những điểm cơ bản nào ?
2. Có ý kiến cho rằng, không gian bao quanh một điện tích chỉ có điện trường. Nhưng cũng có ý kiến cho rằng, quanh điện tích đó có điện từ trường. Ý kiến nào đúng ? Vì sao ?

BÀI TẬP

1. Phát biểu nào sau đây là **sai** khi nói về điện từ trường ?

   A. Khi từ trường biến thiên theo thời gian, nó sinh ra một điện trường xoáy.

   B. Điện trường xoáy là điện trường mà đường sức là những đường cong có điểm đầu và điểm cuối.

   C. Khi điện trường biến thiên theo thời gian, nó sinh ra một từ trường.

   D. Từ trường có các đường sức từ bao quanh các đường sức của điện trường biến thiên.

2. Trong điện từ trường, các vectơ cường độ điện trường và vectơ cảm ứng từ luôn

   A. cùng phương, ngược chiều. B. cùng phương, cùng chiều.

   C. có phương vuông góc với nhau. D. có phương lệch nhau 45°.

24 SÓNG ĐIỆN TỪ

Trong trường điện từ luôn luôn có sự chuyển hoá giữa điện trường xoáy biến thiên và từ trường biến thiên. Sự chuyển hoá ấy cố định ở một nơi hay là lan toả ? Nếu có sự lan toả thì nó có giống như sự lan truyền của sóng âm, sóng nước hay không ?

Héc, nhà vật lí người Đức, đã giải đáp vấn đề này bằng thực nghiệm, giúp minh chứng cho kết luận của Mắc-xoen về điện từ trường.



HÉC
(Heinrich Rudolf Hertz,
1857 - 1894,
nhà vật lí người Đức)

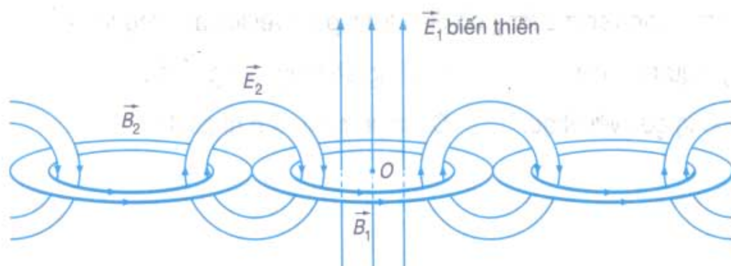
1. Sóng điện từ là gì ?

Ta hãy xem xét chi tiết vấn đề đặt ra ở trên.

Nếu tại một điểm O nào đó có một điện trường biến thiên $\vec{E}_1$, theo kết luận của Mắc-xoen, thì xuất hiện một từ trường biến thiên $\vec{B}_1$ tại vùng lân cận. Tiếp theo, vì có từ trường biến thiên, nên lại xuất hiện một điện trường $\vec{E}_2$ biến thiên ở vùng lân cận khác, rồi tương tự, lại xuất hiện $\vec{B}_2$ ... như minh hoạ ở Hình 24.1.

Quá trình lan truyền điện từ trường được gọi là *sóng điện từ*.

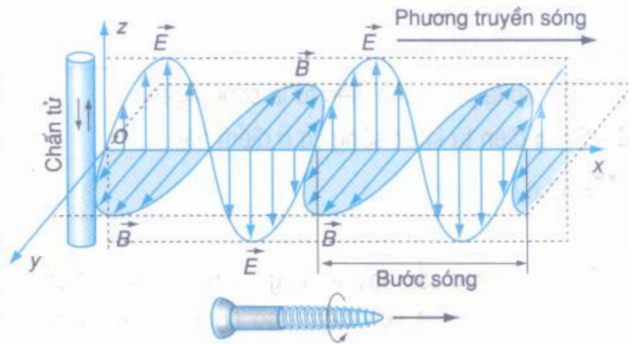
Mắc-xoen đã tiên đoán sự tồn tại của sóng điện từ và xây dựng được các phương trình toán học về quy luật của nó được gọi là *các phương trình Mắc-xoen*.



Hình 24.1 *Sự hình thành sóng điện từ.*

Sóng điện từ có thể là tuần hoàn hoặc không tuần hoàn. Dưới đây, ta chỉ xét sóng điện từ tuần hoàn, với các đại lượng đặc trưng : bước sóng λ chu kì (T), tần số (f), tương tự như ở sóng cơ.

2. Đặc điểm của sóng điện từ



Hình 24.2 Sự lan truyền của sóng điện từ.

• Sóng điện từ là sóng ngang (Hình 24.2). Trong quá trình truyền sóng, vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$ luôn vuông góc với vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ và cả hai vectơ này luôn vuông góc với phương truyền sóng $\overrightarrow{Ox}$.

Cả $\vec{E}$ và $\vec{B}$ đều biến thiên tuần hoàn theo không gian và thời gian, và luôn đồng pha.

Chấn tử là nguồn phát sóng, thường làm bằng kim loại bên trong có dòng điện biến thiên.

Sự sắp xếp các vectơ $\vec{E}$, $\vec{B}$, $\overrightarrow{Ox}$ phù hợp với quy tắc cái đinh ốc. Khi vặn cái đinh ốc theo chiều từ $\vec{E}$ tới $\vec{B}$ thì mũi đinh ốc sẽ tiến theo hướng truyền sóng.

Trong chân không, sóng điện từ có bước sóng là :

$$\lambda = cT \quad (24.1)$$

trong đó c là tốc độ ánh sáng, T là chu kì của dao động điện từ.

$$T = \frac{1}{f} \quad (24.2)$$

trong đó f là tần số của dao động điện từ.

C1 Từ Hình vẽ 24.2, hãy nêu cách áp dụng quy tắc cái đinh ốc cho các vectơ $\vec{E}, \vec{B}, \overrightarrow{Ox}$ (hoặc quy tắc tam diện thuận).

• Sóng điện từ có thể truyền qua cả chân không. Đây là sự khác biệt giữa sóng điện từ và sóng cơ. Mắc-xoen đã chứng minh được là tốc độ lan truyền của sóng điện từ trong chân không bằng tốc độ ánh sáng, tức là xấp xỉ 300 000 km/s.

3. Tính chất của sóng điện từ

Sóng điện từ có những tính chất sau :

– Trong quá trình lan truyền, nó mang theo năng lượng. Sóng có tần số càng cao thì khả năng lan truyền càng xa.

– Tuân theo các quy luật truyền thẳng, phản xạ, khúc xạ.

– Tuân theo các quy luật giao thoa, nhiễu xạ.

Nguồn phát sóng điện từ (còn gọi là chấn tử) rất đa dạng, có thể là bất cứ vật thể nào tạo ra một điện trường hoặc từ trường biến thiên như tia lửa điện, dây dẫn điện xoay chiều, cầu dao đóng ngắt mạch điện,...

CÂU HỎI

1. Tại sao lại nói sóng điện từ là sóng ngang ?
2. Sóng điện từ khác sóng cơ ở điểm nào ?

BÀI TẬP

1. Phát biểu nào sau đây là đúng khi nói về sóng điện từ ?

   A. Khi một điện tích điểm dao động thì sẽ có điện từ trường lan truyền trong không gian dưới dạng sóng.

   B. Điện tích dao động không thể bức xạ ra sóng điện từ.

   C. Tốc độ của sóng điện từ trong chân không nhỏ hơn nhiều lần so với tốc độ ánh sáng trong chân không.

   D. Tần số của sóng điện từ bằng nửa tần số của điện tích dao động.

2. Trong quá trình lan truyền sóng điện từ, vectơ $\vec{B}$ và vectơ $\vec{E}$ luôn luôn

   A. trùng phương với nhau và vuông góc với phương truyền sóng.

   B. dao động cùng pha.

   C. dao động ngược pha.

   D. biến thiên tuần hoàn theo không gian, không tuần hoàn theo thời gian.

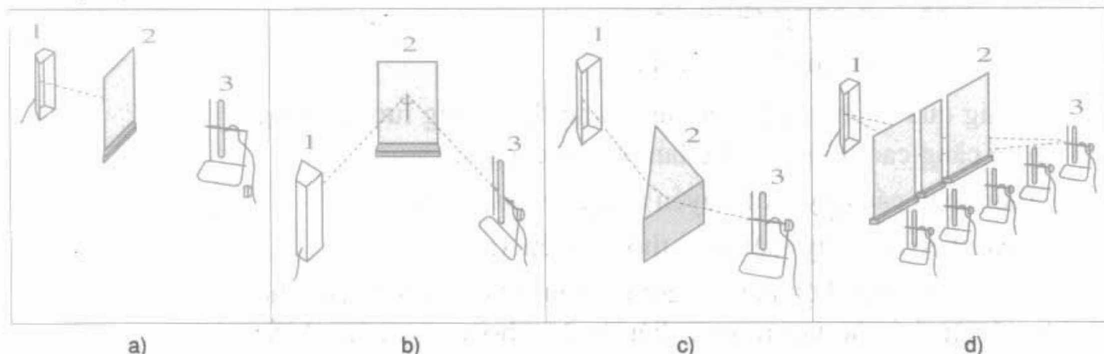
3. Tại hai điểm A, B cách nhau 1 km đặt hai anten phát sóng điện từ giống hệt nhau. Một người cầm một máy thu sóng di chuyển trên đoạn thẳng AB. Hỏi tín hiệu thu được trong khi di chuyển, ở các vị trí có như nhau không ? Tại sao ?

4. Trong Hình 24.3, các vectơ nằm ngang biểu thị vận tốc truyền sóng điện từ, các vectơ thẳng đứng biểu thị cường độ điện trường. Hãy vẽ các vectơ cảm ứng từ tương ứng theo đường nét đứt.



Hình 24.3

5. Quan sát bốn thí nghiệm a), b), c) và d) về tính chất của sóng điện từ (Hình 24.4), hãy dự đoán và giải thích mục đích riêng của mỗi thí nghiệm ?



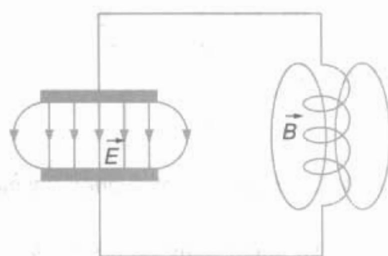
Hình 24.4. Các thí nghiệm về tính chất của sóng điện từ với các thiết bị gồm nguồn sóng (1), vật chắn (2), anten thu (3).

25 TRUYỀN THÔNG BẰNG SÓNG ĐIỆN TỪ

Ngày nay, mọi người ở thành thị, nông thôn, núi cao, biển xa đều có thể sử dụng điện thoại, nghe đài phát thanh, xem truyền hình một cách dễ dàng với đủ loại dịch vụ như điện thoại di động, truyền hình vệ tinh, truyền hình cáp, internet không dây... Phải chăng những thành tựu ấy đều là những ứng dụng của sóng điện từ ?

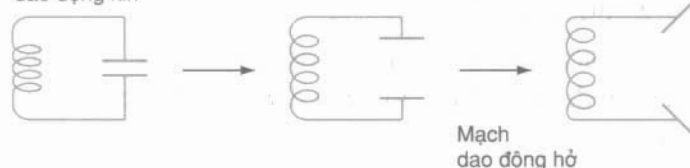
1. Mạch dao động hở. Anten

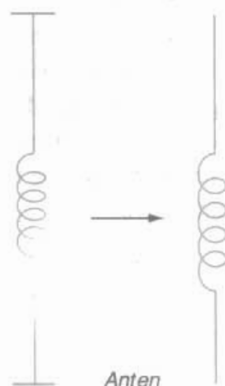
Trong quá trình dao động điện từ diễn ra ở mạch dao động *LC* thì điện trường biến thiên tập trung hầu hết trong tụ điện, còn từ trường biến thiên tập trung hầu hết trong cuộn dây. Do đó, điện từ trường hầu như không bức xạ ra bên ngoài (Hình 25.1). Mạch dao động như vậy gọi là *mạch dao động kín*.



Hình 25.1

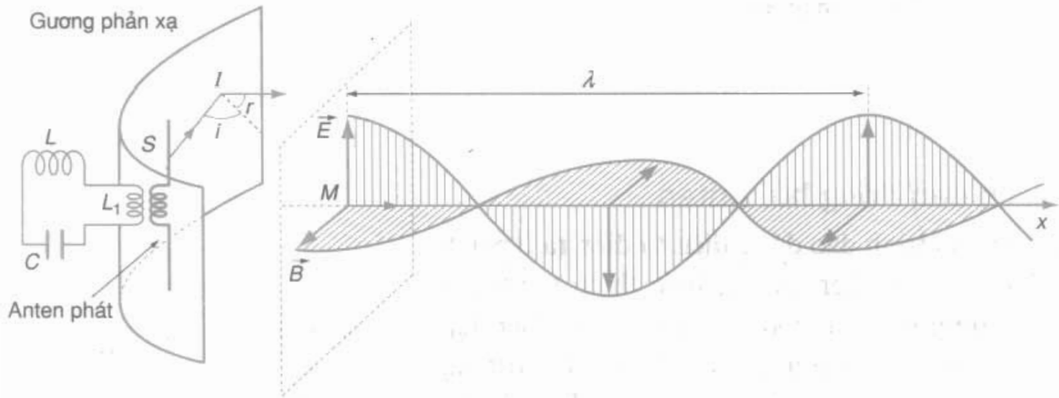
Nếu ta tách xa hai bản cực của tụ điện *C*, đồng thời tách xa các vòng của cuộn cảm *L* thì vùng không gian có điện trường biến thiên và từ trường biến thiên được mở rộng dần (Hình 25.2). Khi đó mạch dao động trở thành một *mạch dao động hở*. Điện từ trường không còn bị giới hạn trong khuôn khổ mạch *LC* nữa mà lan toả trong không gian thành sóng điện từ và có khả năng đi rất xa.





Hình 25.2 Từ mạch dao động kín chuyển thành mạch dao động hở.

Anten chính là một dạng mạch dao động hở, là một công cụ hữu hiệu để bức xạ sóng điện từ. Anten có rất nhiều dạng khác nhau tuỳ theo tần số sóng và nhu cầu sử dụng, ví dụ như : hệ thống anten với dây trời và dây đất, anten với chấn tử phát sóng là thanh kim loại, anten có gương phản xạ bằng kim loại để định hướng truyền sóng (Hình 25.3)...



Hình 25.3 Một loại anten ghép với mạch dao động LC.

Có loại anten dùng để *phát sóng*, có loại dùng để *thu sóng* điện từ. Trên đường truyền, nếu sóng điện từ gặp anten thu thì nó tạo ra trong anten thu một dòng điện cảm ứng biến thiên cùng tần số với sóng điện từ đó. Khi đó, một phần năng lượng của điện từ trường biến thành năng lượng của dòng điện cảm ứng xuất hiện trong anten thu.

Anten thu thông thường là loại cảm ứng mạnh với thành phần điện trường $\vec{E}$ của sóng điện từ. Cũng có loại cảm ứng mạnh với thành phần từ trường $\vec{B}$ của sóng điện từ như anten ferit.

Các dao động điện từ được truyền từ mạch dao động ra anten bằng cách ghép qua cuộn cảm. Trong Hình 25.3, ta thấy nguyên lí cấu tạo của một hệ thống anten gồm mạch dao động LC, cuộn cảm L_1 ở giữa LC và anten, chấn tử phát sóng và gương phản xạ định hướng truyền sóng điện từ theo phương Ox.

2. Nguyên tắc truyền thông bằng sóng điện từ

Để truyền được các thông tin như âm thanh, hình ảnh... đến những nơi xa, người ta đều áp dụng một quy trình chung là :

– Biến các âm thanh (hoặc hình ảnh...) muốn truyền đi thành các dao động điện gọi là các tín hiệu âm tần (hoặc thị tần).

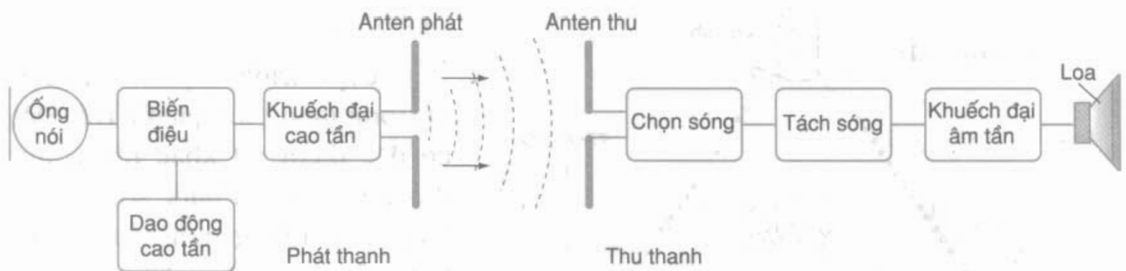
– Dùng sóng điện từ tần số cao (cao tần), gọi là *sóng mang*, để truyền các tín hiệu âm tần (hoặc thị tần) đi xa qua anten phát.

– Dùng máy thu với anten thu để chọn và thu lấy sóng điện từ cao tần.

– Tách tín hiệu ra khỏi sóng cao tần rồi dùng loa để nghe âm thanh đã truyền tới (hoặc dùng màn hình để xem hình ảnh).

Ví dụ sơ đồ khối của một hệ thống phát thanh và thu thanh dùng sóng điện từ được vẽ trên Hình 25.4.

Sóng âm không truyền được xa trong không khí. Sóng điện từ có tần số cao từ cỡ MHz trở lên có thể lan truyền đi những khoảng cách rất lớn. Vì vậy, người ta gửi tín hiệu âm tần vào sóng điện từ cao tần bằng cách biến điệu, để nhờ sóng điện từ cao tần làm nhiệm vụ sóng mang, đưa tín hiệu âm tần đi xa.



Hình 25.4 Sơ đồ khối của hệ thống phát thanh và thu thanh dùng sóng điện từ.

• **Hệ thống phát thanh gồm :**

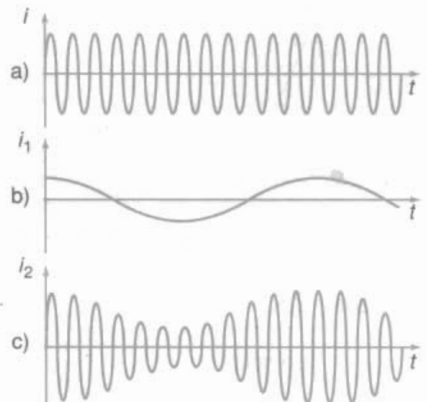
– Dao động cao tần : tạo ra sóng mang (Hình 25.5a) ;

– Ống nói (micrôphôn) : biến âm thanh thành dao động điện âm tần (Hình 25.5b) ;

– Biến điệu : trộn dao động âm tần và dao động cao tần thành dao động cao tần biến điệu (trên Hình 25.5c là dạng sóng cao tần biến điệu có biên độ biến đổi phù hợp với tín hiệu âm tần) ;

– Khuếch đại cao tần : khuếch đại dao động cao tần biến điệu để đưa ra anten phát ;

– Anten phát : phát xạ sóng cao tần biến điệu ra không gian.

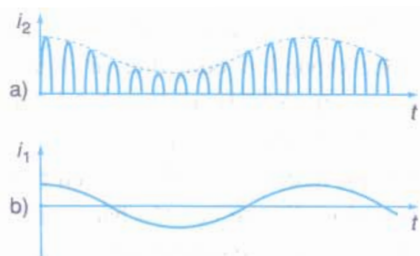


Hình 25.5 Sóng mang (a), tín hiệu âm tần (b) và sóng cao tần biến điệu biên độ (c).

• **Hệ thống thu thanh gồm :**

– Anten thu : cảm ứng với nhiều sóng điện từ ;

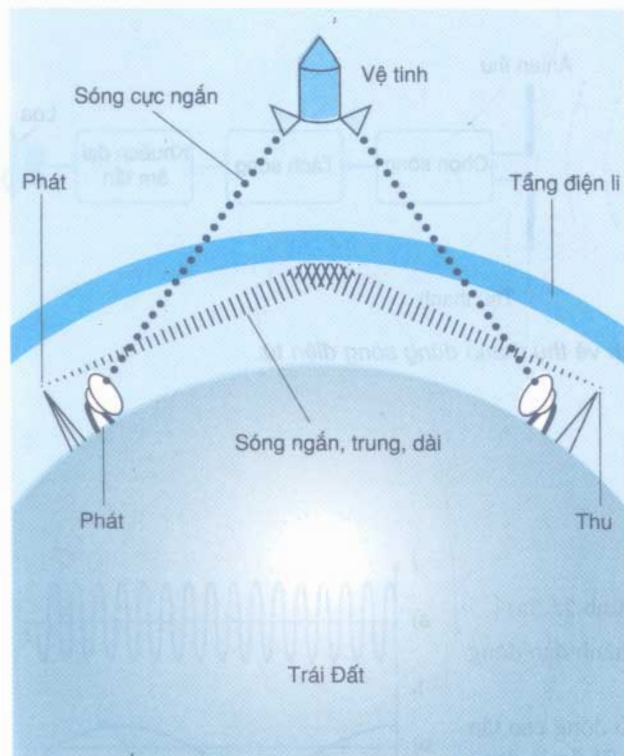
– Chọn sóng : chọn lọc sóng muốn thu nhờ mạch cộng hưởng ;



Hình 25.6 Quá trình tách sóng.

– Tách sóng : lấy ra dao động âm tần từ dao động cao tần biến điệu đã thu được (Hình 25.6a, b) ;

– Khuếch đại âm tần : làm cho dao động âm tần mạnh lên, rồi đưa ra loa tái lập âm thanh.



Hình 25.7 Truyền sóng điện từ trên Trái Đất.

3. Sự truyền sóng điện từ quanh Trái Đất

Các quá trình truyền sóng điện từ trong thông tin quanh Trái Đất có đặc điểm rất khác nhau, tuỳ thuộc vào độ dài bước sóng, điều kiện môi trường trên mặt đất và tính chất của bầu khí quyển. Trong các tầng, đặc biệt quan trọng là tầng điện li ở độ cao khoảng 80 ÷ 800 km, có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình truyền sóng điện từ (Hình 25.7). Tầng điện li là tầng khí quyển, ở đó các phân tử khí bị ion hoá do các tia Mặt Trời hoặc các tia vũ trụ. Nó có khả năng dẫn điện, nên có thể phản xạ sóng điện từ như một mặt kim loại.

Người ta thường căn cứ vào bước sóng để chia sóng điện từ thành các dải sóng như trong Bảng 25.1.

Bảng 25.1

Tên sóng	Bước sóng λ
Sóng dài	> 1 000 m
Sóng trung	1 000 m ÷ 100 m
Sóng ngắn	100 m ÷ 10 m
Sóng cực ngắn	10 m ÷ 0,01 m

• Các loại sóng dài, trung và ngắn đều bị tầng điện li phản xạ với mức độ khác nhau, do đó các sóng này có thể đi vòng quanh Trái Đất qua nhiều lần phản xạ giữa tầng điện li và mặt đất.

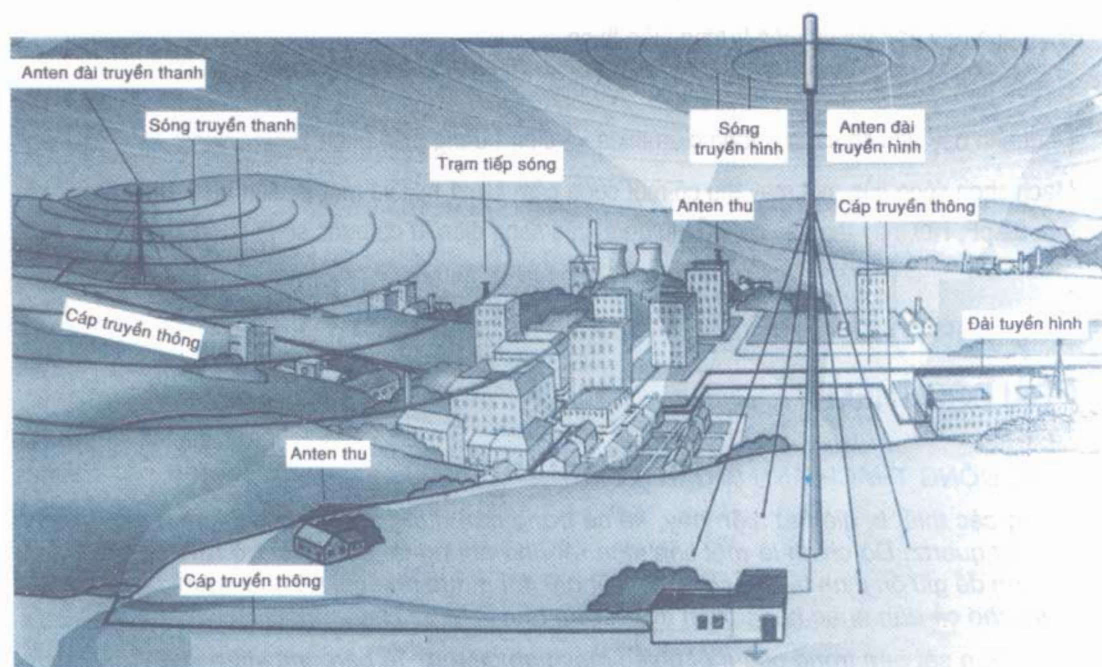
Vì vậy, người ta hay dùng các loại sóng này trong truyền thanh, truyền hình trên mặt đất.

• Riêng sóng cực ngắn thì không bị phản xạ mà đi xuyên qua tầng điện li, hoặc chỉ có khả năng truyền thẳng từ nơi phát đến nơi thu. Vì vậy sóng cực ngắn hay được dùng để thông tin trong cự li vài chục kilômét, hoặc truyền thông qua vệ tinh.

4. Truyền thông bằng cáp

Ngày nay, ngoài việc sử dụng sóng điện từ truyền tin trong không gian mà không dùng dây dẫn (trước đây hay gọi là vô tuyến điện), người ta còn sử dụng nhiều loại dây dẫn để truyền sóng điện từ như trong các kĩ thuật truyền hình cáp, internet cáp, các cáp truyền thông dẫn ngầm qua biển giữa các châu lục... (Hình 25.8).

Đây là một bước tiến mới về khoa học kĩ thuật truyền thông, nhằm hạn chế tối đa việc mất mát năng lượng sóng trong những vùng không gian không sử dụng sóng và cũng là hạn chế gây



Hình 25.8. Hệ thống truyền thông dùng dây cáp và không dùng dây (vô tuyến).

ô nhiễm môi trường vì sóng điện từ. Đồng thời, việc truyền sóng điện từ qua cáp đã nâng chất lượng truyền thông lên nhiều do ít bị nhiễu bởi môi trường ngoài. Trong cáp truyền thông, những dây dẫn sóng điện từ có thể làm bằng kim loại hoặc vật liệu quang học (cáp quang) mà ta đã biết sơ lược ở lớp 11.

CÂU HỎI

1. Tại sao người ta có thể dùng mạch dao động *LC* để chọn sóng trong các máy thu ?

2. Nếu mạch dao động hở không có điện trở thuần thì dao động điện từ tự do trong đó có bị tắt dần không? Tại sao ?

BÀI TẬP

1. Với mạch dao động hở thì ở vùng không gian

A. quanh dây dẫn chỉ có từ trường biến thiên.

B. quanh dây dẫn chỉ có điện trường biến thiên.

C. bên trong tụ điện không có từ trường biến thiên.

D. quanh dây dẫn có cả từ trường biến thiên và điện trường biến thiên.

2. Mạch chọn sóng của một máy thu có một cuộn cảm $L = 1$ mH và một tụ điện biến thiên từ 9,7 pF đến 92 pF. Hỏi máy thu này có thể thu được các sóng điện từ có bước sóng trong khoảng nào ?

BÀI ĐỌC THÊM

BỘ DAO ĐỘNG THẠCH ANH (QUARTZ)

Trong các thiết bị điện tử hiện nay, kể cả trong dân dụng lẫn công nghiệp, người ta hay nói đến từ quartz. Đó chính là một linh kiện rất nhỏ nhưng lại đóng vai trò rất quan trọng là làm chuẩn để giữ ổn định tần số cho thiết bị hoạt động, tựa như vai trò của người nhạc trưởng giữ nhịp cho cả dàn nhạc hàng trăm người hoà tấu.

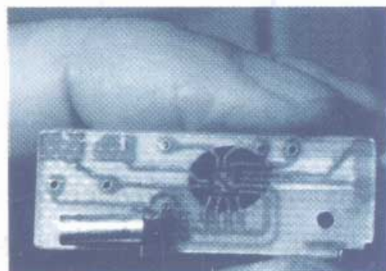
Nếu quan sát bên trong của một chiếc máy tính điện tử để bàn, máy tính xách tay, chiếc đồng hồ điện tử, chiếc điện thoại di động... cho đến máy bay, tên lửa, rôbôt, ta đều sẽ thấy có linh kiện thạch anh nhỏ như đầu que tăm hoặc như hạt ngô. Bên trong là một lát cắt từ

một tinh thể thạch anh, bên ngoài là vỏ bằng kim loại có ghi tần số riêng của nó. Hình 25.9 cho thấy một linh kiện thạch anh (màu trắng sáng) bên cạnh vi mạch trong một đồng hồ điện tử. Ta thấy kích thước của nó rất nhỏ so với ngón tay.

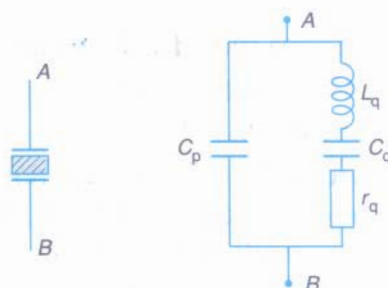
Đặc điểm quan trọng nhất của bộ dao động thạch anh là độ ổn định tần số rất cao và hầu như không chịu ảnh hưởng của điều kiện bên ngoài. Nếu xét về mặt điện, thì người ta có thể coi như nó tương đương với một mạch dao động (Hình 25.10) trong đó có L_q, C_q, r_q mắc nối tiếp, rồi mắc song song với C_p.

Thạch anh là một loại khoáng vật gồm các tinh thể SiO_2. Tinh thể thạch anh có ba trục : trục điện, trục quang, trục cơ, thể hiện đặc tính riêng về điện, cơ, quang (Hình 25.11). Đặc biệt, thạch anh có hiệu ứng áp điện. Khi ta làm tinh thể biến dạng thì xuất hiện điện tích trên bề mặt. Ngược lại, khi áp vào nó một hiệu điện thế thì nó biến dạng. Hiệu ứng này còn có ở một số loại tinh thể khác và được ứng dụng nhiều trong kĩ thuật âm thanh như chế tạo micrôphôn nhỏ xíu, loa tinh thể, hoặc đầu đọc của máy quay đĩa,...

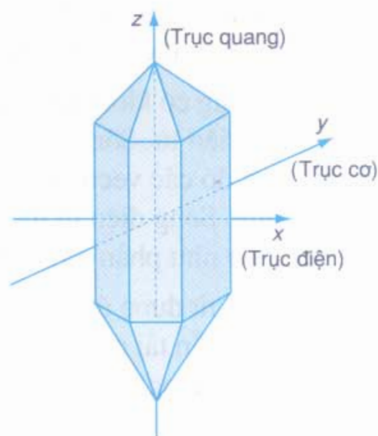
Nếu ta áp vào tinh thể thạch anh một hiệu điện thế xoay chiều thì nó sẽ dao động. Tần số dao động riêng của tinh thể thạch anh rất ổn định nên tinh thể thạch anh luôn được dùng làm "chuẩn tần số" trong máy tính điện tử cũng như các thiết bị điện tử khác. Ví dụ, trong đồng hồ điện tử thì chính thạch anh làm nhiệm vụ tạo các xung chuẩn đẳng thời với độ ổn định cực cao để làm cơ sở cho việc đếm thời gian chính xác.



Hình 25.9



Hình 25.10 *Kí hiệu và mạch tương đương của thạch anh.*



Hình 25.11 *Tinh thể thạch anh*

TÓM TẮT CHƯƠNG IV

1. Tương tự như dao động cơ của con lắc, dao động điện từ trong mạch LC mà không có tương tác điện từ với bên ngoài là dao động điện từ điều hoà, tự do, và có phương trình dao động là $q = q_0\cos(\omega t + \varphi)$. Mỗi mạch LC đều có một tần số dao động riêng là $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$.

Trong quá trình dao động điện từ, luôn có sự chuyển hoá qua lại giữa năng lượng điện và năng lượng từ trường của mạch, nhưng năng lượng điện từ toàn phần của mạch có giá trị không đổi.

2. Trong thực tế, mạch dao động LC luôn có điện trở thuần R làm tiêu hao điện năng, dẫn tới dao động bị tắt dần. Nếu R quá lớn thì sự chuyển hoá điện từ trong mạch không còn là tuần hoàn nữa.

Muốn duy trì được dao động điện từ trong mạch, cần phải bù năng lượng cho mạch đủ với phần bị tiêu hao sau mỗi chu kì. Khi đó ta sẽ có một hệ tự dao động. Ta có thể sử dụng đặc tính điều khiển của tranzito để tạo dao động duy trì.

3. Tại bất cứ nơi nào, khi có sự biến thiên của điện trường thì đều xuất hiện từ trường biến thiên và ngược lại. Sự biến thiên và chuyển hoá liên tục của điện trường và từ trường gây nên điện từ trường (hay trường điện từ).

Điện từ trường có khả năng lan truyền trong không gian, kể cả trong chân không dưới dạng sóng điện từ. Sóng điện từ là sóng ngang, có tốc độ lan truyền bằng tốc độ ánh sáng, trong đó các vectơ $\vec{E}$ và $\vec{B}$ luôn vuông góc với nhau và vuông góc với phương truyền sóng. Sóng điện từ luôn mang theo năng lượng và cũng tuân theo các quy luật như sóng cơ như phản xạ, khúc xạ, giao thoa, nhiễu xạ.

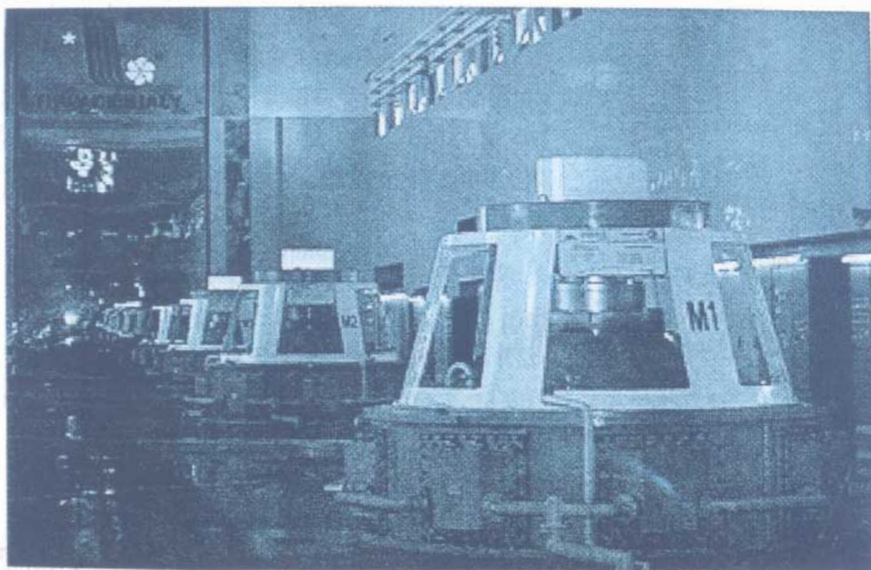
4. Sóng điện từ được ứng dụng nhiều trong truyền thông. Người ta dùng nó làm sóng mang để chuyển tải các dao động âm thanh, hình ảnh... đi xa bằng phương pháp biến điệu. Trong không gian quanh Trái Đất, sóng điện từ có thể truyền thẳng hoặc phản xạ ở tầng điện li, tuỳ theo độ dài của bước sóng. Các vệ tinh nhân tạo, cáp dẫn sóng được dùng nhiều trong công nghệ truyền thông bằng sóng điện từ.

5. Nguyên lí cấu tạo của hệ thống phát và thu sóng điện từ trong truyền thông bao gồm :

– Phần phát gồm các bộ phận chính là : tạo dao động cao tần, nguồn tín hiệu, tạo dao động biến điệu, khuếch đại cao tần, anten phát.

– Phần thu gồm các bộ phận chính là : anten thu, chọn sóng, tách sóng, khuếch đại âm tần.

CHƯƠNG V
DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU



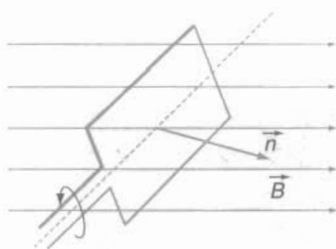
Các tổ máy phát điện tại gian máy của Nhà máy thuỷ điện Y-a-li.

Trong chương trước, ta đã xét các dao động điện từ tự do, dao động điện từ tắt dần, dao động điện từ duy trì. Trong chương này, ta xét một loại dao động điện từ cưỡng bức. Đó chính là dòng điện xoay chiều được dùng rộng rãi. Dòng điện này đổi chiều liên tục hàng trăm lần trong một giây, làm từ trường do nó sinh ra cũng thay đổi theo. Chính điều đó đã làm cho dòng điện xoay chiều có một số tác dụng mà dòng điện một chiều không có.

Trong chương này, ta lần lượt xét khái niệm dòng điện xoay chiều và các đại lượng có liên quan, các tác dụng và ứng dụng cơ bản của dòng điện này. Các đoạn mạch xoay chiều được nghiên cứu chủ yếu bằng phương pháp giản đồ Fre-nen. Các máy điện được xét về mặt nguyên tắc cấu tạo và hoạt động mà không đi sâu vào các chi tiết công nghệ.

26 DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU
MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU CHỈ CÓ ĐIỆN TRỞ THUẦN

Ngày nay, dòng điện dùng trong các gia đình, công sở, nhà máy hầu hết là dòng điện xoay chiều. Vậy dòng điện xoay chiều là gì và có các đặc trưng cơ bản nào ?



Hình 26.1 Khi khung dây quay đều trong từ trường, trong khung có suất điện động xoay chiều.

1. Suất điện động xoay chiều

Cho một khung dây dẫn phẳng có diện tích S quay đều với tốc độ góc ω quanh một trục vuông góc với các đường sức của một từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$. Theo định luật cảm ứng điện từ, trong khung dây xuất hiện một suất điện động biến đổi theo thời gian :

$$e = E_0\cos(\omega t + \varphi_0) \quad (26.1)$$

Đó là suất điện động xoay chiều biến đổi theo thời gian theo định luật dạng sin, thường gọi tắt là *suất điện động xoay chiều*. Chu kì và tần số biến đổi của suất điện động liên hệ với tần số góc ω bởi các công thức : $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$, $f = \dfrac{\omega}{2\pi}$ (giống như đối với dao động cơ).

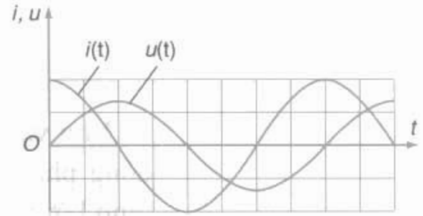
Suất điện động tạo bởi các máy phát điện xoay chiều cũng có biểu thức dạng như trên.

2. Điện áp xoay chiều. Dòng điện xoay chiều

Nối hai cực của máy phát điện xoay chiều với một đoạn mạch tiêu thụ điện. Trong mạch có dao động điện cưỡng bức với tần số bằng tần số của suất điện động do máy phát điện tạo ra. Giữa hai đầu đoạn mạch có một hiệu điện thế biến thiên theo thời gian theo định luật dạng sin gọi là *hiệu điện thế xoay chiều* hay *điện áp xoay chiều*.

Dùng dao động kí điện tử hai chùm tia để nghiên cứu đồng thời cường độ dòng điện và điện áp giữa hai đầu đoạn mạch,

ta thấy chúng biến đổi theo thời gian theo định luật dạng sin (còn gọi là biến đổi điều hoà) cùng tần số, nhưng nói chung, lệch pha với nhau. Đồ thị biến đổi của các đại lượng đó trong một trường hợp được vẽ ở Hình 26.2.



Hình 26.2 Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của cường độ dòng điện và điện áp giữa hai đầu một đoạn mạch xoay chiều theo thời gian.

Trong trường hợp tổng quát, biểu thức của điện áp giữa hai đầu đoạn mạch xoay chiều AB nào đó và cường độ dòng điện qua nó có dạng :

$$u = U_0 \cos(\omega t + \varphi_1) \qquad (26.2)$$

$$i = I_0 \cos(\omega t + \varphi_2) \qquad (26.3)$$

Ở đây, u là điện áp tức thời giữa A và B, i là cường độ dòng điện tức thời với quy ước chiều dương là chiều tính điện áp tức thời (từ A tới B), ω là tần số góc ; U_0, I_0 là các biên độ ; φ_1, φ_2 là các pha ban đầu tương ứng của điện áp và cường độ dòng điện. Ta nói trong mạch có dòng điện xoay chiều.

Đại lượng $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ gọi là độ lệch pha của u so với i.

Nếu $\varphi > 0$ thì u sớm pha so với i.

Nếu $\varphi < 0$ thì u trễ pha so với i.

Nếu $\varphi = 0$ thì u đồng pha với i.

Điện áp lấy ra từ hai cực của máy phát điện xoay chiều cũng như từ ổ cắm điện (nối với mạng điện) là điện áp xoay chiều.

C1 Căn cứ vào Hình 26.2, hãy cho biết trong hai đại lượng $u(t)$ và $i(t)$, đại lượng nào biến thiên sớm pha hơn và sớm hơn một lượng bằng bao nhiêu ?

C2 Tần số f và chu kì dao động T của dòng điện xoay chiều có mối liên hệ với tần số góc ω giống như ở các dao động cơ học. Hãy viết biểu thức tổng quát $u(t)$, $i(t)$ theo T rồi theo f.

Mạng điện dân dụng của nước ta cung cấp dòng xoay chiều với tần số 50 Hz. Một số nước dùng dòng xoay chiều tần số 60 Hz.

Để đơn giản, người ta thường chọn thời điểm ban đầu sao cho pha ban đầu của u hoặc của i bằng 0.

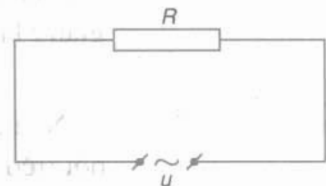
Ví dụ, chọn $\varphi_1 = 0$ thì :

$$u = U_0\cos\omega t$$

$$i = I_0\cos(\omega t - \varphi)$$

3. Đoạn mạch xoay chiều chỉ có điện trở thuần

Đặt một điện áp xoay chiều $u = U_0 \cos\omega t$ vào hai đầu đoạn mạch chỉ có điện trở thuần R (Hình 26.3). Trong từng khoảng thời gian rất nhỏ, điện áp và cường độ dòng điện coi như không đổi, ta có thể áp dụng định luật Ôm như đối với dòng điện không đổi chạy trên đoạn mạch có điện trở R :



Hình 26.3 Đoạn mạch chỉ có điện trở thuần.

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_0}{R}\cos\omega t = I_0\cos\omega t$$

Như vậy, cường độ dòng điện trên điện trở thuần biến thiên đồng pha với điện áp giữa hai đầu điện trở và có biên độ xác định bởi :

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \quad (26.4)$$

4. Các giá trị hiệu dụng

Dòng điện xoay chiều cũng có hiệu ứng toả nhiệt như dòng điện một chiều.

Cho dòng điện xoay chiều có cường độ $i = I_0\cos\omega t$ chạy qua đoạn mạch chỉ có điện trở thuần R. Công suất toả nhiệt tức thời (công suất ở thời điểm t bất kì) được tính bằng công thức :

$$p = Ri^2 = RI_0^2\cos^2\omega t$$

Ta có thể biến đổi vế phải thành :

$$p = \frac{RI_0^2}{2} + \frac{RI_0^2}{2}\cos 2\omega t$$

C3 Công suất toả nhiệt tức thời biến thiên theo quy luật nào ? So sánh chu kì biến đổi của nó với chu kì biến đổi của dòng điện.

Biểu thức trên gồm hai số hạng : một số hạng không đổi và một số hạng biến đổi điều hoà theo thời gian.

Nếu xét trong một khoảng thời gian rất lớn so với chu kì dòng điện thì giá trị trung bình của số hạng thứ hai bằng 0.

Công suất toả nhiệt trung bình của dòng điện xoay chiều trong một chu kì, gọi tắt là công suất toả nhiệt trung bình, có giá trị là :

$$\mathscr{P} = \overline{p} = \overline{RI_0^2\cos^2\omega t} = \frac{RI_0^2}{2} \quad (26.5)$$

Đó cũng là công suất toả nhiệt trung bình trong thời gian t rất lớn so với chu kì, vì phần thời gian lẻ so với chu kì rất nhỏ, gây sai lệch không đáng kể. Vậy nhiệt lượng toả ra trong thời gian t là :

$$Q = \frac{RI_0^2}{2}t$$

Nếu cho dòng điện không đổi cường độ I chạy qua điện trở nói trên trong cùng thời gian t sao cho nhiệt lượng toả ra cũng bằng Q, nghĩa là :

$$Q = RI^2t \qquad (26.6)$$

thì

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \qquad (26.7)$$

Đại lượng I xác định như trên được gọi là giá trị hiệu dụng của cường độ dòng điện xoay chiều hay *cường độ hiệu dụng* của dòng điện xoay chiều.

Cường độ hiệu dụng của dòng điện xoay chiều bằng cường độ của một dòng điện không đổi, nếu cho hai dòng điện đó lần lượt đi qua cùng một điện trở trong những khoảng thời gian bằng nhau đủ dài thì nhiệt lượng toả ra bằng nhau.

Tương tự như vậy, người ta cũng xác định được suất điện động hiệu dụng của một nguồn điện xoay chiều :

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \qquad (26.8)$$

và điện áp hiệu dụng ở hai đầu đoạn mạch xoay chiều :

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \qquad (26.9)$$

Để đo điện áp hiệu dụng và cường độ hiệu dụng của dòng điện xoay chiều, người ta dùng vôn kế và ampe kế xoay chiều. Nguyên tắc cấu tạo của các dụng cụ này dựa trên những tác dụng không phụ thuộc vào chiều của dòng điện.

Thông thường, trong đời sống, mỗi khi nói về cường độ dòng điện hoặc điện áp xoay chiều là nói về giá trị hiệu dụng của các đại lượng ấy. Mạng điện xoay chiều dân dụng ở nước ta có điện áp xoay chiều là 220 V.

C4 Nêu ví dụ về tác dụng của dòng điện không phụ thuộc vào chiều dòng điện. Tác dụng này phụ thuộc như thế nào vào cường độ dòng điện ?

5. Biểu diễn bằng vectơ quay

Tương tự như đối với các dao động cơ, người ta cũng biểu diễn các dao động điện từ bằng các vectơ quay. Cường độ dòng điện i và điện áp u được biểu diễn bằng các vectơ quay tương ứng : $i \leftrightarrow \vec{I}$, $u \leftrightarrow \vec{U}$. Các vectơ $\vec{I}$, $\vec{U}$ có độ dài tương ứng tỉ lệ với các giá trị hiệu dụng U, I và quay ngược chiều kim đồng hồ (quy ước là chiều dương) quanh gốc O với tốc độ góc bằng tần số góc ω của dòng điện. Ở thời điểm $t = 0$, chúng có phương hợp với trục Ox (trục pha) một góc bằng pha



Hình 26.4 Biểu diễn bằng vectơ quay cho đoạn mạch chỉ có điện trở thuần.

Vì các giá trị hiệu dụng và các biên độ tương ứng tỉ lệ với nhau, nên ta có thể vẽ các vectơ quay biểu diễn cường độ dòng điện i và điện áp tức thời u có số đo chiều dài bằng hoặc tỉ lệ với số đo các biên độ tương ứng I_0, U_0. Khi đó, các vectơ quay này được kí hiệu là $\vec{I_0}$, $\vec{U_0}$.

ban đầu của đại lượng tương ứng. Đối với đoạn mạch chỉ có điện trở thuần, các vectơ quay $\vec{I}$ và $\vec{U}$ có cùng hướng (Hình 26.4).

CÂU HỎI

1. Thế nào là điện áp xoay chiều ? Dòng điện xoay chiều ?

2. Điện áp tức thời và cường độ dòng điện tức thời trên một đoạn mạch biến thiên giống nhau và khác nhau ở điểm nào ?

BÀI TẬP

1. Các giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều

   A. được xác định dựa trên tác dụng nhiệt của dòng điện.

   B. chỉ được đo bằng các ampe kế xoay chiều.

   C. bằng giá trị trung bình chia cho $\sqrt{2}$.

   D. bằng giá trị cực đại chia cho 2.

2. Câu nào sau đây đúng khi nói về dòng điện xoay chiều ?

   A. Có thể dùng dòng điện xoay chiều để mạ điện.

   B. Điện lượng chuyển qua tiết diện của dây dẫn trong một chu kì của dòng điện bằng 0.

   C. Điện lượng chuyển qua tiết diện của dây dẫn trong mọi khoảng thời gian bất kì đều bằng 0.

   D. Công suất toả nhiệt tức thời trên một đoạn mạch có giá trị cực đại bằng công suất toả nhiệt trung bình nhân với $\sqrt{2}$.

3. Dòng điện chạy trên một đoạn mạch có biểu thức $i = 2\cos 100\pi t$ (A). Viết biểu thức của điện áp u giữa hai đầu đoạn mạch, biết điện áp này sớm pha $\frac{\pi}{3}$ đối với cường độ dòng điện và có giá trị hiệu dụng là 12 V.

4. Một dòng điện xoay chiều chạy qua điện trở $R = 10\ \Omega$. Biết nhiệt lượng toả ra trong 30 phút là 9.10^5 J, tìm biên độ của cường độ dòng điện.

Em có biết ?

Việc chuyển từ dùng dòng điện một chiều sang dùng dòng điện xoay chiều, đặc biệt dòng điện xoay chiều ba pha (sẽ học ở Bài 30) là một bước tiến quan trọng của ngành điện. Thế nhưng, vào khoảng cuối thế kỉ XIX, nhiều người còn chưa nhận thấy ngay điều đó. Ngay cả một số nhà khoa học ngày đó cũng chưa ủng hộ cuộc chuyển đổi này. Điều đó xảy ra vì những lợi thế của dòng xoay chiều không dễ thấy ngay được. Các em sẽ thấy dần các lợi thế đó ở các bài học sau.

27 MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU CHỈ CÓ TỤ ĐIỆN, CUỘN CẢM

Trong mạch điện xoay chiều, ngoài điện trở thuần, ta còn gặp hai loại phần tử khác là tụ điện và cuộn cảm. Chúng có tác dụng gì đối với mạch điện này ?

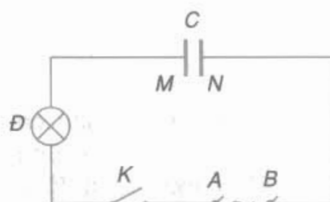
1. Đoạn mạch xoay chiều chỉ có tụ điện

a) Thí nghiệm

Mắc mạch điện như ở Hình 27.1. Sau khi đóng khoá K, ta thấy đèn $Đ$ sáng. Vậy tụ điện đã cho dòng điện xoay chiều "đi qua".

Nếu thay tụ điện bằng một dây dẫn thì đèn sáng hơn hoặc thay đổi điện dung của tụ điện thì độ sáng của đèn thay đổi.

Thí nghiệm chứng tỏ tụ điện có tác dụng cản trở dòng điện xoay chiều. Tác dụng cản trở này phụ thuộc vào điện dung của tụ điện.



Hình 27.1 Sơ đồ thí nghiệm nghiên cứu tác dụng của tụ điện trong mạch điện xoay chiều.

C1 Nêu cấu tạo của tụ điện và giải thích tại sao tụ điện không cho dòng điện một chiều đi qua.

Tác dụng cho dòng điện xoay chiều "đi qua" của tụ điện được giải thích như sau : trong $\frac{1}{4}$ chu kì tính từ lúc tụ điện có $u = 0$, tụ điện được nạp điện, trong $\frac{1}{4}$ chu kì tiếp theo, tụ điện phóng điện và sau đó được nạp theo chiều ngược lại.

b) Giá trị tức thời của cường độ dòng điện và điện áp

Giả sử giữa hai bản tụ điện M và N (Hình 27.2) có điện áp xoay chiều :

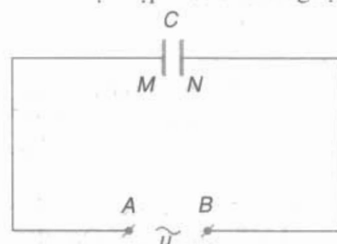
$$u = U_0\sin\omega t \qquad (27.1)$$

Điện tích trên bản M ở thời điểm t là :

$$q = Cu = CU_0\sin\omega t$$

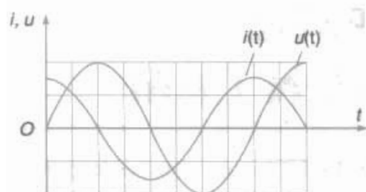
Quy ước chiều dương của dòng điện là chiều từ A tới M thì $i = \frac{dq}{dt}$. Do đó :

$$i = \frac{d}{dt}(CU_0\sin\omega t) = C\omega U_0\cos\omega t$$



Hình 27.2 Đoạn mạch xoay chiều chỉ có tụ điện.

Công thức $i = \frac{dq}{dt}$ đúng cho cả quá trình dòng điện chạy từ bản M về A. Khi đó q giảm, $\frac{dq}{dt} < 0$, dòng điện có chiều ngược lại.



Hình 27.3 Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của cường độ dòng điện qua tụ điện và điện áp giữa hai bản tụ điện theo thời gian.

hay $$i = I_0\cos\omega t \qquad (27.2)$$

với $I_0 = \omega C U_0$ là biên độ của dòng điện qua tụ điện.

Vì $u = U_0\sin\omega t = U_0\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ nên ta thấy cường độ dòng điện qua tụ điện biến thiên sớm pha $\frac{\pi}{2}$ so với điện áp giữa hai bản tụ điện.

Có thể kiểm tra kết luận trên bằng cách dùng dao động kí điện tử hai chùm tia để nghiên cứu đồng thời sự biến đổi theo thời gian của cường độ dòng điện và điện áp giữa hai bản tụ điện. Các đồ thị thu được có dạng như ở Hình 27.3.

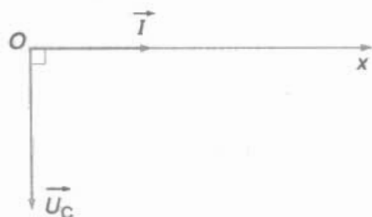
C2 Giải thích tại sao khi có dòng điện đi từ *A* tới *M* thì cũng có dòng điện cùng cường độ đi từ *N* tới *B* (Hình 27.2).

c) Biểu diễn bằng vectơ quay

Tại thời điểm $t = 0$, vectơ quay $\vec{I}$ biểu diễn cường độ dòng điện $i = I_0\cos\omega t$ hợp với trục Ox một góc bằng 0, vectơ quay $\vec{U}_C$ biểu diễn điện áp $u = U_0\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ hợp với trục Ox một góc $\left(-\frac{\pi}{2}\right)$.

C3 Nếu quy ước chiều dòng điện ngược lại với quy ước nêu ở mục b thì công thức *i*(*t*) có gì thay đổi ? Có thể nhận xét gì về pha của cường độ dòng điện theo quy ước này ?

Như vậy, đối với đoạn mạch chỉ có tụ điện, vectơ $\vec{U}_C$ lập với vectơ $\vec{I}$ một góc $\left(-\frac{\pi}{2}\right)$ (xem Hình 27.4).



Hình 27.4 Biểu diễn bằng vectơ quay cho đoạn mạch chỉ có tụ điện.

d) Định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ có tụ điện. Dung kháng

Chia hai vế của công thức $I_0 = \omega C U_0$ cho $\sqrt{2}$, ta có :

$$I = \omega C U$$

Nếu đặt : $$Z_C = \frac{1}{\omega C} \qquad (27.3)$$

thì : $$I = \frac{U}{Z_C} \qquad (27.4)$$

C4 Dựa vào công thức (27.4), hãy phát biểu định luật Ôm đối với đoạn mạch xoay chiều chỉ có tụ điện.

Đó là công thức *định luật Ôm cho đoạn mạch xoay chiều chỉ có tụ điện*. Đối với dòng điện xoay chiều tần số góc ω, đại lượng Z_C giữ vai trò tương tự như điện trở đối với dòng điện không đổi và được gọi là

dung kháng của tụ điện.

Đơn vị của dung kháng cũng là đơn vị của điện trở (ôm).

C5 Dung kháng của tụ điện phụ thuộc vào các yếu tố nào ? Tụ điện có điện dung 1 μF mắc trong mạng điện xoay chiều dân dụng của nước ta có dung kháng bằng bao nhiêu ?

2. Đoạn mạch xoay chiều chỉ có cuộn cảm

Cuộn dây dẫn có độ tự cảm L nào đó gọi là cuộn cảm. Đó thường là cuộn dây dẫn hoặc ống dây dẫn hình trụ thẳng, hình xuyến có nhiều vòng dây. Điện trở r của cuộn dây gọi là điện trở thuần hay điện trở hoạt động của nó. Nếu r không đáng kể thì ta gọi cuộn dây là cuộn cảm thuần.

C6 Độ tự cảm của một cuộn dây phụ thuộc vào các yếu tố nào ?

a) Thí nghiệm

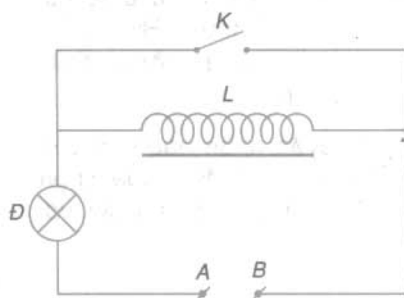
Cuộn cảm thuần không có ảnh hưởng tới dòng điện không đổi nhưng có ảnh hưởng như thế nào đối với dòng điện xoay chiều ?

Để giải đáp câu hỏi đó, ta tiến hành thí nghiệm với sơ đồ vẽ ở Hình 27.5.

Trong sơ đồ này, L là cuộn cảm thuần có lõi sắt dịch chuyển được. Nhờ vậy, có thể thay đổi được độ tự cảm của cuộn cảm.

Nếu mắc A, B với nguồn điện một chiều thì sau khi đóng hay mở khoá K, độ sáng của đèn $Đ$ hầu như không đổi.

Nếu mắc A, B với nguồn điện xoay chiều thì sau khi khoá K đóng, đèn $Đ$ sáng hơn rõ rệt so với khi khoá K mở. Khi K mở, nếu ta rút lõi sắt ra khỏi cuộn cảm thì độ sáng của đèn tăng lên.

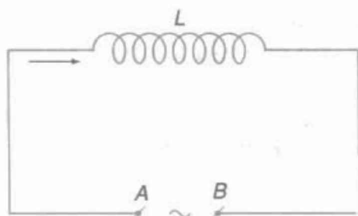


Hình 27.5 Sơ đồ thí nghiệm khảo sát tác dụng của cuộn cảm trong mạch điện.

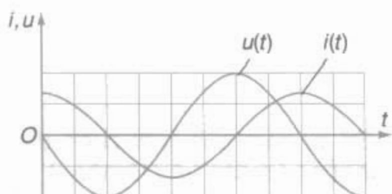
Ghi chú :

Trong thí nghiệm này, ta quan sát khi mạch ở chế độ ổn định.

Thí nghiệm này chứng tỏ cuộn cảm có tác dụng cản trở dòng xoay chiều. Tác dụng cản trở này phụ thuộc vào độ tự cảm của nó.



Hình 27.6 Đoạn mạch xoay chiều chỉ có cuộn cảm.



Hình 27.7 Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của cường độ dòng điện và điện áp giữa hai đầu cuộn cảm thuần theo thời gian.

C7 Vì sao điện áp u giữa hai điểm A và B trong Hình 27.6 được tính bằng công thức $u = iR_{AB} - e$?

C8 Nguyên nhân nào làm cho cường độ dòng điện qua cuộn cảm biến thiên trễ pha đối với điện áp ?



Hình 27.8 Biểu diễn bằng vectơ quay cho đoạn mạch chỉ có cuộn cảm thuần.

C9 Tại sao khi rút lõi sắt khỏi cuộn dây trong thí nghiệm nêu ở mục a thì độ sáng của đèn tăng lên ?

b) Giá trị tức thời của cường độ dòng điện và điện áp

Giả sử có một dòng điện xoay chiều cường độ :

$$i = I_0\cos\omega t \qquad (27.5)$$

chạy qua cuộn cảm thuần có độ tự cảm L (Hình 27.6). Chiều dương của dòng điện qua cuộn cảm được quy ước là chiều chạy từ A tới B. Đây là dòng điện biến thiên theo thời gian nên nó gây ra trong cuộn cảm một suất điện động cảm ứng :

$$e = -L\frac{di}{dt} = \omega L I_0 \sin\omega t$$

Điện áp giữa hai điểm A và B là :

$$u = iR_{AB} - e$$

trong đó R_{AB} là điện trở của đoạn mạch, có giá trị bằng 0 nên :

$$u = -e = -\omega L I_0 \sin\omega t$$

$$u = U_0\cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \qquad (27.6)$$

với $U_0 = \omega L I_0$.

Vậy, cường độ dòng điện qua cuộn cảm thuần biến thiên điều hoà cùng tần số nhưng trễ pha $\frac{\pi}{2}$ đối với điện áp giữa hai đầu cuộn cảm.

Có thể kiểm tra kết luận trên bằng cách dùng dao động kí điện tử hai chùm tia để nghiên cứu đồng thời sự biến đổi theo thời gian của cường độ dòng điện và điện áp giữa hai đầu cuộn dây. Các đồ thị thu được có dạng như ở Hình 27.7.

c) Biểu diễn bằng vectơ quay

Tại thời điểm $t = 0$, vectơ $\vec{I}$ biểu diễn cường độ dòng điện $i = I_0\cos\omega t$ trùng với trục Ox, còn vectơ $\vec{U}_L$ biểu diễn điện áp $u = U_0\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ hợp với trục Ox một góc $\frac{\pi}{2}$. Như vậy, đối với đoạn mạch chỉ có cuộn cảm thuần, $\vec{U}_L$ lập với $\vec{I}$ một góc $\frac{\pi}{2}$ theo chiều dương (xem Hình 27.8).

d) Định luật Ôm đối với đoạn mạch chỉ có cuộn cảm thuần. Cảm kháng

Chia hai vế của công thức $U_0 = \omega L I_0$ cho $\sqrt{2}$, ta có $U = \omega L I$. Nếu đặt :

$$Z_L = \omega L \qquad (27.7)$$

thì

$$I = \frac{U}{Z_L} \qquad (27.8)$$

Đây là công thức *định luật Ôm đối với đoạn mạch xoay chiều chỉ có cuộn cảm thuần.*

Đối với dòng điện xoay chiều tần số góc ω, đại lượng $Z_L = \omega L$ đóng vai trò tương tự như điện trở đối với dòng điện không đổi và được gọi là *cảm kháng*. Đơn vị của cảm kháng cũng là đơn vị của điện trở (ôm).

Nếu cuộn dây có điện trở thuần r đáng kể thì cả điện trở r và cảm kháng ωL đều có tác dụng cản trở dòng điện xoay chiều. Dòng điện qua cuộn dây là dòng qua cả hai phần tử này nên có thể coi cuộn dây tương đương với một đoạn mạch gồm có điện trở thuần r và cuộn cảm thuần có độ tự cảm L mắc nối tiếp.

C10 Dựa vào công thức (27.8), hãy phát biểu định luật Ôm đối với đoạn mạch xoay chiều chỉ có cuộn cảm thuần.

CÂU HỎI

1. Nêu các tác dụng chính của tụ điện đối với dòng điện xoay chiều.
2. Chứng minh rằng cường độ dòng điện xoay chiều qua cuộn cảm thuần biến thiên trễ pha $\frac{\pi}{2}$ đối với điện áp giữa hai đầu cuộn cảm.

BÀI TẬP

1. Để tăng dung kháng của một tụ điện phẳng có điện môi là không khí, ta cần

   A. tăng tần số của điện áp đặt vào hai bản tụ điện.

   B. tăng khoảng cách giữa hai bản tụ điện.

   C. giảm điện áp hiệu dụng giữa hai bản tụ điện.

   D. đưa bản điện môi vào trong lòng tụ điện.

2. Phát biểu nào sau đây đúng đối với cuộn cảm ?

   A. Cuộn cảm có tác dụng cản trở đối với dòng điện xoay chiều, không có tác dụng cản trở dòng điện một chiều.

   B. Điện áp tức thời giữa hai đầu cuộn cảm thuần và cường độ dòng điện qua nó có thể đồng thời bằng một nửa các biên độ tương ứng của chúng.

C. Cảm kháng của một cuộn cảm thuần tỉ lệ nghịch với chu kì của dòng điện xoay chiều.

D. Cường độ dòng điện qua cuộn cảm tỉ lệ thuận với tần số dòng điện.

3. Cường độ dòng điện xoay chiều qua đoạn mạch chỉ có tụ điện hoặc chỉ có cuộn cảm thuần giống nhau ở chỗ :

A. Đều biến thiên trễ pha $\frac{\pi}{2}$ so với điện áp ở hai đầu đoạn mạch.

B. Đều có giá trị hiệu dụng tỉ lệ với điện áp hiệu dụng giữa hai đầu đoạn mạch.

C. Đều có giá trị hiệu dụng tăng khi tần số dòng điện tăng.

D. Đều có giá trị hiệu dụng giảm khi tần số dòng điện tăng.

4. Mắc tụ điện có điện dung 2 μF vào mạng điện xoay chiều có điện áp 220 V, tần số 50 Hz. Xác định cường độ hiệu dụng của dòng điện qua tụ điện.

5. Điện áp giữa hai bản tụ điện có biểu thức $u = U_0 \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{3}\right)$. Xác định các thời điểm mà cường độ dòng điện qua tụ điện bằng 0.

6. Mắc cuộn cảm thuần có độ tự cảm L = 0,2 H vào hai cực của ổ cắm điện xoay chiều 220 V – 50 Hz. Tính cường độ hiệu dụng của dòng điện qua cuộn cảm.

28 MẠCH CÓ *R, L, C* MẮC NỐI TIẾP. CỘNG HƯỞNG ĐIỆN

Đoạn mạch điện xoay chiều có cả ba loại phần tử (điện trở, cuộn cảm, tụ điện) mắc nối tiếp có một số đặc tính khác với đoạn mạch điện xoay chiều chỉ có một loại phần tử. Khi ta tăng dần một thông số nào đó của mạch, chẳng hạn như điện dung của tụ điện, cường độ hiệu dụng của dòng điện có thể tăng rồi lại giảm. Bài này dùng phương pháp giản đồ Fre-nen để nghiên cứu đoạn mạch đó.

1. Các giá trị tức thời

Xét đoạn mạch vẽ ở Hình 28.1, gồm một điện trở thuần *R*, một cuộn cảm thuần có độ tự cảm *L* và một tụ điện có điện dung *C* mắc nối tiếp. Ta gọi đó là đoạn mạch có *R, L, C* mắc nối tiếp hoặc gọi tắt là đoạn mạch *RLC* nối tiếp.

Đặt vào hai đầu *A, B* của đoạn mạch trên một điện áp xoay chiều *u* có tần số góc ω. Trong mạch có dao động điện cưỡng bức với tần số góc bằng tần số góc của điện áp.

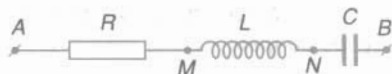
Giả sử cường độ dòng điện trong đoạn mạch có biểu thức $i = I_0\cos\omega t$. Dựa vào tính chất của các đoạn mạch chỉ chứa một loại phần tử đã học, ta viết được biểu thức của các điện áp tức thời :

$$u_R = u_{AM} = I_0R\cos\omega t = U_{0R}\cos\omega t$$

$$u_L = u_{MN} = \omega LI_0\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_{0L}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$u_C = u_{NB} = \frac{I_0}{\omega C}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = U_{0C}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

C1 Các phần tử mắc với nhau như thế nào thì gọi là mắc nối tiếp ? Viết các công thức về hiệu điện thế và cường độ dòng điện trong đoạn mạch một chiều gồm các điện trở mắc nối tiếp.



Hình 28.1 Sơ đồ đoạn mạch có R, L, C mắc nối tiếp.

Nếu nối hai đầu đoạn mạch *AB* bằng một dây dẫn, ta có một mạch dao động với tần số dao động riêng là ω_0. Tần số này chỉ phụ thuộc vào đặc tính của đoạn mạch và nói chung khác với tần số ω của điện áp bên ngoài.

Vì các phần tử trong đoạn mạch AB mắc nối tiếp nên điện áp tức thời giữa hai đầu A, B là :

$$u = u_R + u_L + u_C \quad (28.1)$$

Vì u là tổng của các điện áp biến thiên điều hoà cùng tần số góc ω nên u cũng là một điện áp biến thiên điều hoà với tần số góc ω.

2. Giản đồ Fre-nen. Quan hệ giữa cường độ dòng điện và điện áp

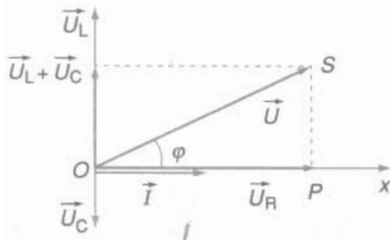
a) Giản đồ Fre-nen

Để tìm biểu thức của u, ta có thể dùng phương pháp giản đồ Fre-nen. Nếu biểu diễn các điện áp xoay chiều bằng các vectơ quay tương ứng :

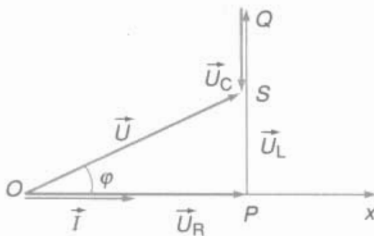
$u \leftrightarrow \vec{U}$, $u_R \leftrightarrow \vec{U}_R$, $u_L \leftrightarrow \vec{U}_L$, $u_C \leftrightarrow \vec{U}_C$

thì ta có :

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C \quad (28.2)$$



Hình 28.2 Tổng hợp các vectơ theo quy tắc hình bình hành.



Hình 28.3 Tổng hợp các vectơ theo quy tắc đa giác.

Góc hợp bởi các vectơ $\vec{U}_R, \vec{U}_L, \vec{U}_C$ với trục Ox vào thời điểm $t = 0$ lần lượt là : 0 ; $\frac{\pi}{2}$; $-\frac{\pi}{2}$.

Việc tổng hợp các vectơ quay có thể tiến hành theo quy tắc hình bình hành (Hình 28.2) hoặc theo quy tắc đa giác (Hình 28.3). Các giản đồ ở các hình này vẽ cho trường hợp $U_L > U_C$.

b) Định luật Ôm cho đoạn mạch *RLC* nối tiếp. Tổng trở

Xét tam giác vuông OPS trên giản đồ vectơ, ta có :

$\overline{OS} = U$; $\overline{OP} = U_R$; $\overline{PS} = U_L - U_C$

$$\overline{OS} = \sqrt{\overline{OP}^2 + \overline{PS}^2}$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \quad (28.3)$$

C2 Điện áp hiệu dụng giữa hai đầu một phần tử trong đoạn mạch *RLC* nối tiếp có thể lớn hơn điện áp hiệu dụng giữa hai đầu đoạn mạch được không? Hãy cho một ví dụ.

C3 Làm thí nghiệm đo điện áp hiệu dụng giữa hai đầu các phần tử *R*, *L*, *C* rồi so sánh với điện áp hiệu dụng giữa hai đầu đoạn mạch.

Thay $U = IR$; $U_L = I\omega L$; $U_C = \dfrac{I}{\omega C}$ vào công thức (28.3), ta tìm được cường độ dòng điện hiệu dụng :

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \dfrac{1}{\omega C})^2}}$$

Nếu đặt :

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \qquad (28.4)$$

thì

$$I = \frac{U}{Z} \qquad (28.5)$$

Đó là công thức của định luật Ôm đối với đoạn mạch xoay chiều có R, L, C mắc nối tiếp. Đối với dòng điện xoay chiều tần số góc ω, đại lượng Z đóng vai trò tương tự như điện trở đối với dòng điện không đổi và được gọi là *tổng trở* của đoạn mạch.

c) Độ lệch pha của điện áp so với cường độ dòng điện

Xét tam giác vuông OPS trên giản đồ, ta có :

$$\tan\varphi = \frac{\overline{PS}}{\overline{OP}} = \frac{U_L - U_C}{U_R}$$

$$\tan\varphi = \frac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R} \qquad (28.6)$$

với *φ là độ lệch pha của u so với i.*

Nếu đoạn mạch có tính cảm kháng tức là cảm kháng lớn hơn dung kháng $\left(\omega L > \dfrac{1}{\omega C}\right)$ thì $\varphi > 0$, cường độ dòng điện trễ pha so với điện áp giữa hai đầu đoạn mạch. Nếu đoạn mạch có tính dung kháng, tức là dung kháng lớn hơn cảm kháng $\left(\dfrac{1}{\omega C} > L\omega\right)$ thì $\varphi < 0$, cường độ dòng điện sớm pha so với điện áp giữa hai đầu đoạn mạch.

Trong trường hợp $U_L < U_C$ thì $\overline{PS} = U_L - U_C < 0$, tam giác OSP vẽ tương tự như ở Hình 28.3 nhưng có điểm S nằm dưới trục Ox, các công thức vẫn đúng.

Khi tính tổng trở, nếu các đại lượng R, L, C, ω tương ứng đo bằng các đơn vị Ω, H, F, rad/s thì tổng trở có đơn vị là Ω.

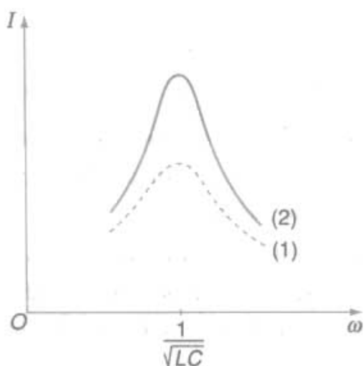
Vì cường độ dòng điện biến đổi đồng pha với điện áp giữa hai đầu điện trở nên độ lệch pha của điện áp u giữa hai đầu đoạn mạch so với cường độ dòng điện được xác định bằng góc φ giữa hai vectơ $\vec{U}$ và $\vec{U}_R$.

Nếu $u = U_0\sin(\omega t + \varphi_1)$ thì :

$$i = I_0\sin(\omega t + \varphi_1 - \varphi)$$

với φ xác định bởi công thức (28.6).

Các đại lượng đặc trưng cho sự cản trở dòng điện xoay chiều còn có tên chung là *trở kháng*.



Hình 28.4 Các đường biểu diễn sự phụ thuộc của cường độ dòng điện I trong đoạn mạch RLC nối tiếp vào tần số góc .

Đường (1) ứng với điện trở *R* lớn.

Đường (2) ứng với điện trở *R* nhỏ hơn.

3. Cộng hưởng điện

Nếu giữ nguyên giá trị của điện áp hiệu dụng U giữa hai đầu đoạn mạch và thay đổi tần số góc ω đến giá trị sao cho $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ thì có hiện tượng đặc biệt xảy ra trong đoạn mạch, gọi là hiện tượng *cộng hưởng điện*. Khi đó :

– Tổng trở của đoạn mạch đạt giá trị cực tiểu : $Z_{min} = R$.

– Cường độ hiệu dụng của dòng điện trong đoạn mạch đạt giá trị cực đại : $I_{max} = \frac{U}{R}$.

– Các điện áp tức thời giữa hai bản tụ điện và hai đầu cuộn cảm có biên độ bằng nhau nhưng ngược pha nên triệt tiêu lẫn nhau. Điện áp giữa hai đầu điện trở R bằng điện áp giữa hai đầu đoạn mạch.

– Cường độ dòng điện biến đổi đồng pha với điện áp giữa hai đầu đoạn mạch.

Điều kiện để xảy ra hiện tượng cộng hưởng điện trong đoạn mạch xoay chiều *RLC* nối tiếp là :

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

hay
$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (28.7)$$

Tiến hành thí nghiệm, người ta vẽ được đường biểu diễn sự biến đổi của cường độ dòng điện I trong đoạn mạch *RLC* nối tiếp vào tần số góc (Hình 28.4). Đó là đường cong cộng hưởng điện.

Nếu điện trở R của đoạn mạch nhỏ, điểm cực đại của đường cong ở cao hơn, hiện tượng cộng hưởng xảy ra rõ hơn, ta nói khi đó có *cộng hưởng nhọn* hơn.

C4 Trong trường hợp nào thì khi tăng dần điện dung C của tụ điện trong đoạn mạch *RLC* nối tiếp, cường độ dòng điện hiệu dụng tăng rồi lại giảm ?

CÂU HỎI

1. Viết công thức tính tổng trở của các đoạn mạch chỉ có hai trong ba loại phần tử : *R, L, C* mắc nối tiếp.
2. Cho *f* là tần số dòng điện. Hãy tính tổng trở của :

– đoạn mạch chỉ có hai cuộn cảm thuần có độ tự cảm là L_1, L_2 mắc nối tiếp.

– đoạn mạch chỉ có hai tụ điện có điện dung là C_1, C_2 mắc nối tiếp.

3. Nêu điều kiện và đặc điểm của hiện tượng cộng hưởng điện đối với đoạn mạch *RLC* nối tiếp.

 BÀI TẬP

1. Dung kháng của một đoạn mạch *RLC* nối tiếp đang có giá trị nhỏ hơn cảm kháng. Ta làm thay đổi chỉ một trong các thông số của đoạn mạch bằng các cách nêu sau đây, cách nào có thể làm cho hiện tượng cộng hưởng điện xảy ra ?

A. Tăng điện dung của tụ điện.

B. Tăng hệ số tự cảm của cuộn dây.

C. Giảm điện trở thuần của đoạn mạch.

D. Giảm tần số dòng điện.

2. Điện áp giữa hai đầu một đoạn mạch *RLC* nối tiếp sớm pha $\frac{\pi}{4}$ so với cường độ dòng điện. Phát biểu nào sau đây đúng đối với đoạn mạch này ?

A. Tần số dòng điện trong đoạn mạch nhỏ hơn giá trị cần để xảy ra cộng hưởng.

B. Tổng trở của đoạn mạch bằng hai lần điện trở thuần của mạch.

C. Hiệu số giữa cảm kháng và dung kháng bằng điện trở thuần của đoạn mạch.

D. Điện áp giữa hai đầu điện trở thuần sớm pha $\frac{\pi}{4}$ so với điện áp giữa hai bản tụ điện.

3. Cho đoạn mạch *RLC* nối tiếp có $R = 50\ \Omega$; $L = 159$ mH, $C = 31,8\ \mu$F. Điện áp giữa hai đầu đoạn mạch có biểu thức $u = 120\cos 100\pi t$ (V). Tính tổng trở của đoạn mạch và viết biểu thức của cường độ dòng điện tức thời qua đoạn mạch.

4. Trong một đoạn mạch xoay chiều *RLC* nối tiếp, hệ số tự cảm của cuộn dây là $L = 0,1$ H ; tụ điện có điện dung $C = 1\ \mu$F ; tần số dòng điện là $f = 50$ Hz.

a) Hỏi cường độ dòng điện trong đoạn mạch biến thiên sớm pha hay trễ pha so với điện áp ở hai đầu đoạn mạch ?

b) Cần phải thay tụ điện nói trên bởi một tụ có điện dung C' bằng bao nhiêu để trên đoạn mạch xảy ra hiện tượng cộng hưởng điện ?

29 CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU HỆ SỐ CÔNG SUẤT

Đối với mạch điện một chiều, nếu dùng ampe kế đo cường độ dòng điện *I* và vôn kế đo điện áp *U* giữa hai đầu một đoạn mạch, ta xác định được công suất tiêu thụ điện của đoạn mạch theo công thức $\mathscr{P} = UI$. Đối với các đoạn mạch xoay chiều nói chung, nếu chỉ dùng vôn kế và ampe kế để thực hiện hai phép đo *U* và đo *I*, ta chưa thể xác định được công suất tiêu thụ điện của đoạn mạch. Vì sao lại có sự khác nhau đó ?

1. Công suất tức thời

Xét một đoạn mạch xoay chiều có dòng điện $i = I_0 \cos\omega t$ chạy qua. Giả sử điện áp giữa hai đầu đoạn mạch lệch pha φ so với cường độ dòng điện và có biểu thức $u = U_0\cos(\omega t + \varphi)$. Công suất tiêu thụ điện của đoạn mạch ở mỗi thời điểm được gọi là *công suất tức thời :*

C1 Công suất tức thời biến đổi theo quy luật nào ? Đối với dòng điện tần số 50 Hz, công suất tức thời biến đổi tuần hoàn bao nhiêu lần trong một giây ?

$$p = ui = U_0 I_0 \cos\omega t.\cos(\omega t + \varphi)$$

Thay $U_0 = U\sqrt{2}$, $I_0 = I\sqrt{2}$ và dùng phép biến đổi lượng giác, ta có :

$$p = UI\cos\varphi + UI\cos(2\omega t + \varphi) \qquad (29.1)$$

2. Công suất trung bình

Công suất trung bình của dòng điện tính trong khoảng thời gian *t* là đại lượng xác định bằng công thức :

$$\mathscr{P} = \frac{W}{t} \qquad (29.2)$$

trong đó *W* là điện năng đã tiêu thụ trên đoạn mạch trong khoảng thời gian *t*.

Nếu *t* bằng chu kì *T* của dòng điện thì $\mathscr{P}$ là công suất trung bình của dòng điện xoay chiều trong một chu kì, gọi tắt là công suất của dòng điện xoay chiều. Đó cũng là công suất trung bình tính trong thời gian *t* rất lớn so với chu kì.

Trong đoạn mạch xoay chiều bất kì, điện năng tiêu thụ chuyển một phần thành nhiệt, một phần thành các dạng năng lượng khác nên biểu thức của định luật bảo toàn năng lượng có dạng :

$$UI\cos\varphi = RI^2 + \mathscr{P}'$$

Để tính công suất trung bình $\mathscr{P}$ trong một chu kì, ta tính giá trị trung bình của từng số hạng trong vế phải của biểu thức (29.1). Số hạng thứ nhất không phụ thuộc thời gian nên sau khi lấy trung bình vẫn có giá trị không đổi, đó là $UI\cos\varphi$. Số hạng thứ hai là hàm tuần hoàn dạng sin của thời gian, nên giá trị trung bình của nó trong thời gian T bằng 0.

trong đó RI^2 là công suất điện năng chuyển thành nhiệt năng trên điện trở thuần, $\mathscr{P}'$ là công suất điện năng chuyển thành các dạng năng lượng khác nhiệt năng (như cơ năng, hoá năng,...).

Công suất của dòng điện xoay chiều trong đoạn mạch là :

$$\mathscr{P} = UI\cos\varphi \quad (29.3)$$

3. Hệ số công suất

Đại lượng $\cos\varphi$ trong công thức (29.3) gọi là *hệ số công suất* của đoạn mạch xoay chiều.

Đối với đoạn mạch chỉ có cuộn cảm thuần $\left(\varphi = \frac{\pi}{2}\right)$, hoặc chỉ có tụ điện $\left(\varphi = -\frac{\pi}{2}\right)$, thì $\cos\varphi = 0$, công suất $\mathscr{P} = 0$. Các đoạn mạch này không tiêu thụ điện năng.

C2 Có thể tính hệ số công suất của đoạn mạch có R, L, C mắc nối tiếp bằng cách dùng giản đồ Fre-nen. Hãy tính theo cách đó và chứng tỏ rằng kết quả thu được cũng là $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$.

Đối với đoạn mạch có R, L, C mắc nối tiếp, điện năng chỉ tiêu thụ trên điện trở R. Vậy công suất tiêu thụ điện trên đoạn mạch bằng công suất toả nhiệt trên R :

$$\mathscr{P} = RI^2$$

So sánh với $\mathscr{P} = UI\cos\varphi$, ta có :

$$\cos\varphi = \frac{RI^2}{UI} = \frac{RI}{U}$$

Thay $U = IZ$, ta thu được công thức tính hệ số công suất :

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} \quad (29.4)$$

Như vậy, hệ số công suất phụ thuộc vào các giá trị của R, L, C của đoạn mạch và tần số ω của dòng điện.

Nếu trong đoạn mạch xảy ra cộng hưởng hoặc đoạn mạch chỉ có điện trở thuần thì $\varphi = 0$, $\cos\varphi = 1$.

Trong các đoạn mạch tiêu thụ điện dân dụng và công nghiệp, $\cos\varphi$ có giá trị không lớn, thường do thành phần cảm kháng của đoạn mạch lớn hơn dung kháng một cách đáng kể. Để tăng hệ số $\cos\varphi$, người ta khuyến khích dùng các thiết bị có tụ điện nhằm tăng dung kháng của đoạn mạch, giảm độ lệch pha φ, sao cho $\cos\varphi > 0{,}85$.

C3 Có thể đo công suất của dòng điện trên một đoạn mạch xoay chiều bằng cách nào ?

Hệ số công suất $\cos\varphi$ có giá trị từ 0 đến 1 và có ý nghĩa quan trọng. Với cùng một điện áp U và cường độ dòng điện I, nếu đoạn mạch có $\cos\varphi$ càng lớn thì công suất $\mathscr{P}$ của dòng điện càng lớn. Nếu $\cos\varphi$ nhỏ, để công suất cũng vẫn bằng $\mathscr{P}$, điện áp là U thì cường độ dòng điện $I = \frac{\mathscr{P}}{U\cos\varphi}$ phải có giá trị lớn hơn, hao phí vì nhiệt toả ra trên dây dẫn lớn hơn. Đó là điều ta cần tránh.

CÂU HỎI

1. Trong trường hợp nào, hệ số công suất của dòng điện xoay chiều có giá trị lớn nhất ? nhỏ nhất ?
2. Vì sao phải tăng hệ số công suất ở nơi tiêu thụ điện ?

BÀI TẬP

1. Công suất của dòng điện xoay chiều trên một đoạn mạch *RLC* nối tiếp nhỏ hơn tích *UI* là do

   A. một phần điện năng tiêu thụ trong tụ điện.

   B. trong cuộn dây có dòng điện cảm ứng.

   C. điện áp giữa hai đầu đoạn mạch và cường độ dòng điện biến đổi lệch pha đối với nhau.

   D. có hiện tượng cộng hưởng điện trên đoạn mạch.

2. Hệ số công suất của đoạn mạch xoay chiều bằng 0 ($\cos\varphi = 0$) trong trường hợp nào sau đây ?

   A. Đoạn mạch chỉ có điện trở thuần. B. Đoạn mạch có điện trở bằng 0.

   C. Đoạn mạch không có tụ điện. D. Đoạn mạch không có cuộn cảm.

3. Một tụ điện có điện dung $C = 5,3\ \mu F$ mắc nối tiếp với điện trở $R = 300\ \Omega$ thành một đoạn mạch. Mắc đoạn mạch vào mạng điện xoay chiều có điện áp 220 V, tần số 50 Hz. Hãy tính :

   a) Hệ số công suất của đoạn mạch.

   b) Điện năng mà đoạn mạch tiêu thụ trong một phút.

4. Một cuộn cảm khi mắc với điện áp xoay chiều 50 V thì tiêu thụ công suất 1,5 W. Biết cường độ dòng điện qua cuộn cảm là 0,2 A. Tính hệ số công suất của cuộn cảm.

30 MÁY PHÁT ĐIỆN XOAY CHIỀU

Máy phát điện là các thiết bị dùng để biến đổi cơ năng thành điện năng. Trong bài này, ta xét hai loại máy phát điện xoay chiều thường dùng.

1. Nguyên tắc hoạt động của máy phát điện xoay chiều

a) Nguyên tắc hoạt động của các loại máy phát điện xoay chiều dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ : khi từ thông qua một vòng dây biến thiên điều hoà, trong vòng dây xuất hiện một suất điện động cảm ứng xoay chiều.

Máy phát điện xoay chiều còn được gọi là máy dao điện.

Nếu từ thông qua mỗi vòng dây biến thiên theo quy luật $\Phi_1 = \Phi_0\cos\omega t$ và cuộn dây có N vòng giống nhau, thì suất điện động xoay chiều trong cuộn dây là :

$$e = -N\frac{d\Phi_1}{dt} = \omega N\Phi_0\sin\omega t$$

hay

$$e = \omega\Phi_0 N\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \qquad (30.1)$$

C1 Có thể làm cho từ thông qua một vòng dây biến thiên bằng những cách nào ?

trong đó Φ_0 là từ thông cực đại qua một vòng dây.

Biên độ của suất điện động là :

$$E_0 = \omega N\Phi_0 \qquad (30.2)$$

b) Có hai cách tạo ra suất điện động xoay chiều thường dùng trong các máy điện :

– Từ trường cố định, các vòng dây quay trong từ trường.

– Từ trường quay, các vòng dây đặt cố định.

2. Máy phát điện xoay chiều một pha

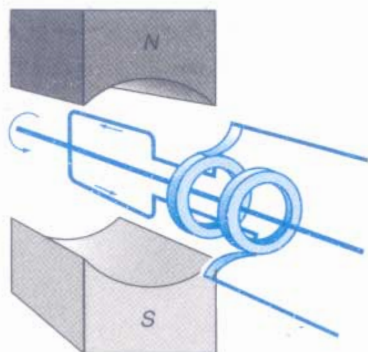
a) Các bộ phận chính

Mỗi máy phát điện xoay chiều đều có hai

C2 Suất điện động của máy phát điện xoay chiều phụ thuộc vào các yếu tố nào ?

Nếu máy phát có p cặp cực, khi rôto quay một vòng, suất điện động sẽ biến thiên tuần hoàn p lần. Gọi n (vòng/ giây) là tốc độ quay của rôto thì tần số biến thiên f của suất điện động của máy sẽ là :

$$f = pn \qquad (30.3)$$



Hình 30.1 Sơ đồ nguyên tắc cấu tạo của máy phát điện xoay chiều một pha có phần ứng quay, phần cảm cố định.

bộ phận chính là *phần cảm* và *phần ứng*.

– Phần cảm là nam châm điện hoặc nam châm vĩnh cửu. Đó là phần tạo ra từ trường.

– Phần ứng là những cuộn dây, trong đó xuất hiện suất điện động cảm ứng khi máy hoạt động.

Một trong hai phần đặt cố định, phần còn lại quay quanh một trục. Phần cố định gọi là *stato*, phần quay gọi là *rôto*.

Để tăng suất điện động của máy phát, phần ứng thường gồm nhiều cuộn dây, mỗi cuộn lại gồm nhiều vòng dây mắc nối tiếp với nhau ; phần cảm gồm nhiều nam châm điện tạo thành nhiều cặp cực Bắc – Nam, bố trí lệch nhau sao cho một cực Bắc nằm giữa hai cực Nam và ngược lại. Các cuộn dây của phần ứng và phần cảm thường được quấn trên các lõi thép kĩ thuật để tăng cường từ thông qua chúng. Lõi thép gồm nhiều lá thép mỏng ghép cách điện với nhau để giảm hao phí năng lượng do dòng Fu-cô.

b) Hoạt động

Các máy phát điện xoay chiều một pha có thể được cấu tạo theo hai cách :

– Cách thứ nhất : phần ứng quay, phần cảm cố định.

– Cách thứ hai : phần cảm quay, phần ứng cố định.

Các máy được cấu tạo theo cách thứ nhất có stato là nam châm đặt cố định, rôto là khung dây quay quanh một trục trong từ trường tạo bởi stato.

Để dẫn dòng điện ra mạch ngoài, người ta dùng hai vành khuyên đặt đồng trục và cùng quay với khung dây (Hình 30.1). Mỗi vành khuyên có một thanh quét tì vào. Khi khung dây quay, hai vành khuyên trượt trên hai thanh quét, dòng điện truyền từ khung dây qua hai thanh quét ra ngoài.

Các máy được cấu tạo theo cách thứ hai có rôto là nam châm, thường là nam châm điện được nuôi bởi dòng điện một chiều ; stato gồm nhiều cuộn dây có lõi sắt, xếp thành một vòng tròn. Các cuộn dây của rôto cũng có lõi sắt và xếp thành vòng tròn, quay quanh trục qua tâm vòng tròn (Hình 30.2).



Hình 30.2 Sơ đồ nguyên tắc cấu tạo của một máy phát xoay chiều một pha, rôto là nam châm điện có hai cặp cực.

3. Máy phát điện xoay chiều ba pha

a) Dòng điện xoay chiều ba pha

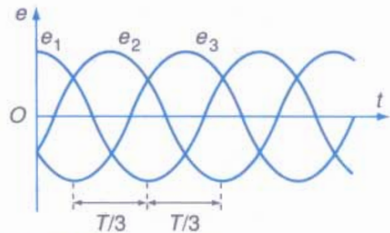
Dòng điện xoay chiều ba pha là hệ thống ba dòng điện xoay chiều, gây bởi ba suất điện động xoay chiều có cùng tần số, cùng biên độ nhưng lệch pha nhau từng đôi một là $\frac{2\pi}{3}$.

Nếu chọn gốc thời gian thích hợp thì biểu thức của các suất điện động là :

$$e_1 = E_0 \cos\omega t$$

$$e_2 = E_0\cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

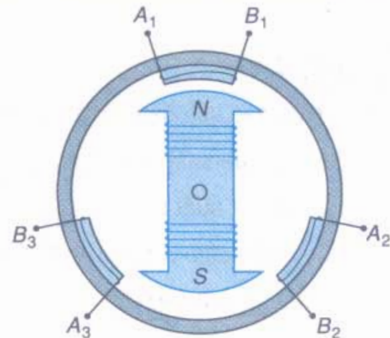
$$e_3 = E_0\cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$



Hình 30.3 Sự biến đổi của các suất điện động xoay chiều ba pha theo thời gian.

b) Cấu tạo và hoạt động của máy phát điện xoay chiều ba pha

Dòng điện xoay chiều ba pha được tạo ra bởi máy phát điện xoay chiều ba pha. Máy này có cấu tạo giống như máy phát điện một pha hoạt động theo cách thứ hai nhưng stato có ba cuộn dây riêng rẽ, hoàn toàn giống nhau, quấn trên ba lõi sắt đặt lệch nhau 120° trên một vòng tròn. Rôto là một nam châm điện (Hình 30.4).



Hình 30.4 Sơ đồ nguyên tắc cấu tạo của một máy phát điện xoay chiều ba pha.

Khi rôto quay đều, các suất điện động cảm ứng xuất hiện trong ba cuộn dây có cùng biên độ, cùng tần số nhưng lệch nhau về pha là $\frac{2\pi}{3}$. Nếu nối các đầu dây của ba cuộn với ba mạch ngoài (ba tải tiêu thụ) giống nhau thì ta có hệ ba

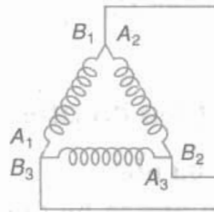
Người ta thường không sử dụng ba suất điện động xoay chiều trong ba cuộn dây của máy phát một cách độc lập mà mắc các cuộn dây với mạch ngoài thành một hệ thống. Có hai cách mắc : *mắc hình sao* và *mắc tam giác*.

Trong *cách mắc tam giác* (Hình 30.5), người ta nối điểm đầu của cuộn dây này với điểm cuối của cuộn dây kia (B_1 với

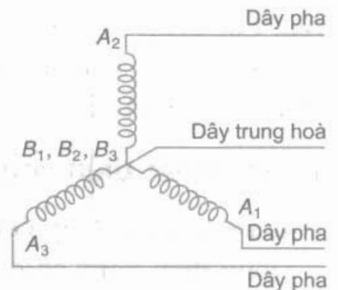
A_2 ; B_2 với A_3 ; B_3 với A_1) rồi nối ba điểm A_1, A_2, A_3 với ba đường dây tải điện. Trong cách mắc này điện áp hiệu dụng giữa hai dây tải điện U_d (điện áp dây) bằng điện áp hiệu dụng ở hai đầu một cuộn dây của máy phát điện U_p (điện áp pha) : $U_d = U_p$.

Trong cách *mắc hình sao* (Hình 30.6), người ta nối ba điểm cuối của ba cuộn dây (B_1, B_2, B_3) với dây trung hoà rồi nối ba điểm đầu A_1, A_2, A_3 với ba đường dây còn lại của hệ thống tải điện. Trong cách mắc này, điện áp dây U_d giữa hai dây pha và điện áp pha U_p liên hệ với nhau bằng công thức : $U_d = \sqrt{3}\ U_p$.

dòng điện cùng biên độ, cùng tần số nhưng lệch nhau về pha là $\frac{2\pi}{3}$.



Hình 30.5



Hình 30.6

CÂU HỎI

1. Kể tên và nêu tác dụng của hai bộ phận chính trong máy phát điện xoay chiều.
2. Dòng điện xoay chiều ba pha là gì ? Khi chuyển từ cách mắc hình sao sang cách mắc tam giác các cuộn dây của máy phát điện thì điện áp dây tăng hay giảm bao nhiêu lần ?

BÀI TẬP

1. Phát biểu nào sau đây đúng đối với máy phát điện xoay chiều ?

   A. Biên độ của suất điện động phụ thuộc vào số cặp cực của nam châm.

   B. Tần số của suất điện động phụ thuộc vào số vòng dây của phần ứng.

   C. Dòng điện cảm ứng chỉ xuất hiện ở các cuộn dây của phần ứng.

   D. Cơ năng cung cấp cho máy được biến đổi hoàn toàn thành điện năng.

2. Máy phát điện xoay chiều một pha có rôto là phần ứng và máy phát điện xoay chiều ba pha giống nhau ở điểm nào sau đây ?

   A. Đều có phần ứng quay, phần cảm cố định.

   B. Đều có bộ góp điện để dẫn điện ra mạch ngoài.

   C. Đều có nguyên tắc hoạt động dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ.

   D. Trong mỗi vòng quay của rôto, suất điện động của máy đều biến thiên tuần hoàn hai lần.

3. Rôto của máy phát điện xoay chiều là nam châm có ba cặp cực, quay với tốc độ 1 200 vòng/phút. Tính tần số của suất điện động do máy tạo ra.

4. Phần ứng của một máy phát điện xoay chiều có N = 200 vòng dây giống nhau. Từ thông qua mỗi vòng dây có giá trị cực đại là 2 mWb và biến thiên điều hoà với tần số 50 Hz. Suất điện động của máy có giá trị hiệu dụng là bao nhiêu ?

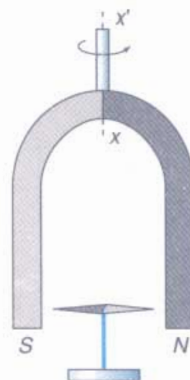
31 ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Động cơ điện xoay chiều có hiệu suất cao hơn các động cơ điện một chiều. Một ưu điểm lớn của dòng điện xoay chiều là tạo ra được từ trường quay dùng trong các động cơ điện xoay chiều. Vậy từ trường quay là gì ? Tại sao loại động cơ điện xoay chiều xét trong bài này được gọi là động cơ không đồng bộ ?

1. Nguyên tắc hoạt động của động cơ không đồng bộ

a) Từ trường quay. Sự quay đồng bộ

Khi một nam châm quay quanh một trục, từ trường do nam châm gây ra có các đường sức từ quay trong không gian. Đó là một *từ trường quay*. Nếu đặt giữa hai cực của một nam châm hình chữ *U* một kim nam châm (Hình 31.1) và quay đều nam châm chữ *U* thì kim nam châm quay theo với cùng tốc độ góc. Ta nói kim nam châm *quay đồng bộ* với từ trường.



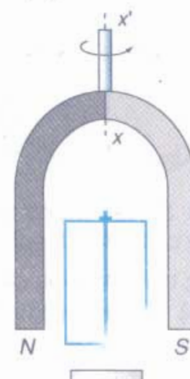
Hình 31.1 Thí nghiệm về sự quay đồng bộ.

Quay đều nam châm quanh trục *xx'*, kim nam châm quay theo với cùng tốc độ góc.

b) Sự quay không đồng bộ

Thay kim nam châm bằng một khung dây dẫn kín. Khung này có thể quay quanh trục *xx'* trùng với trục quay của nam châm (Hình 31.2). Nếu quay đều nam châm ta thấy khung dây quay theo cùng chiều, đến một lúc nào đó khung dây cũng quay đều nhưng với tốc độ góc nhỏ hơn tốc độ góc của nam châm. Do khung dây và từ trường quay với các tốc độ góc khác nhau, nên ta nói chúng *quay không đồng bộ* với nhau.

Sự quay không đồng bộ trong thí nghiệm trên được giải thích như sau. Từ trường quay làm từ thông qua khung dây biến thiên, trong khung dây xuất hiện một dòng điện cảm ứng. Cũng chính từ trường quay này tác dụng lên dòng điện trong khung dây một momen lực làm khung dây quay.



Hình 31.2 Thí nghiệm về sự quay không đồng bộ.

Quay đều nam châm quanh trục *xx'*, khung dây dẫn kín quay theo với tốc độ góc nhỏ hơn tốc độ góc của nam châm.

C1 Nếu tăng momen cản đặt vào khung dây thì tốc độ quay của khung dây thay đổi thế nào ?

Theo định luật Len-xơ, khung dây quay theo chiều quay của từ trường để làm giảm tốc độ biến thiên của từ thông qua khung.

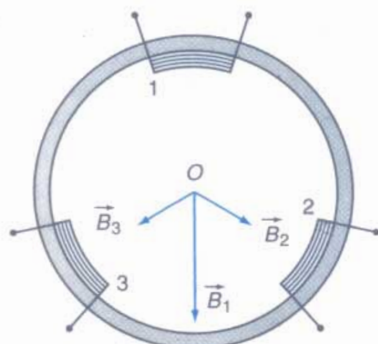
Tốc độ góc của khung dây luôn nhỏ hơn tốc độ góc của từ trường.

Thật vậy, nếu tốc độ góc của khung dây tăng đến giá trị bằng tốc độ góc của từ trường thì từ thông qua khung không biến thiên nữa, dòng điện cảm ứng không còn, momen lực từ bằng 0, momen cản làm khung quay chậm lại. Lúc đó lại có dòng cảm ứng và có momen lực từ. Momen này chỉ tồn tại khi có chuyển động tương đối giữa nam châm và khung dây, nó thay đổi cho tới khi có giá trị bằng momen cản thì khung dây quay đều với tốc độ góc nhỏ hơn tốc độ góc của từ trường.

Như vậy, nhờ có hiện tượng cảm ứng điện từ và tác dụng của từ trường quay mà khung dây quay và sinh công cơ học. Động cơ hoạt động dựa theo nguyên tắc nói trên gọi là *động cơ không đồng bộ* (động cơ cảm ứng).

2. Tạo ra từ trường quay bằng dòng điện ba pha

Từ trường quay có thể được tạo ra bằng dòng điện ba pha như sau : Mắc ba cuộn dây giống nhau với mạng điện ba pha, bố trí mỗi cuộn lệch nhau $\frac{1}{3}$ vòng tròn (Hình 31.3).



Hình 31.3 Sự tạo thành từ trường quay bằng dòng điện ba pha.

Cảm ứng từ do ba cuộn dây gây tại tâm O tỉ lệ với các cường độ dòng điện qua mỗi cuộn nên có biểu thức :

$$B_1 = B_0\cos\omega t$$

$$B_2 = B_0\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$B_3 = B_0\cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

Dùng các biểu thức trên, người ta

Trong ba cuộn dây có ba dòng điện cùng biên độ, cùng tần số nhưng lệch pha nhau $\frac{2\pi}{3}$. Mỗi cuộn dây đều gây ở vùng xung quanh trục O một từ trường mà cảm ứng từ có phương nằm dọc theo trục cuộn dây và biến đổi tuần hoàn với cùng tần số ω nhưng lệch pha nhau $\frac{2\pi}{3}$. Có thể chứng minh được vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ của từ trường tổng hợp có độ lớn không đổi và quay trong mặt phẳng song song với ba trục cuộn dây với tốc độ góc bằng ω.

3. Cấu tạo và hoạt động của động cơ không đồng bộ ba pha

Động cơ không đồng bộ ba pha có hai bộ phận chính :

– Stato có ba cuộn dây giống nhau quấn trên ba lõi sắt bố trí lệch nhau $\frac{1}{3}$ vòng tròn.

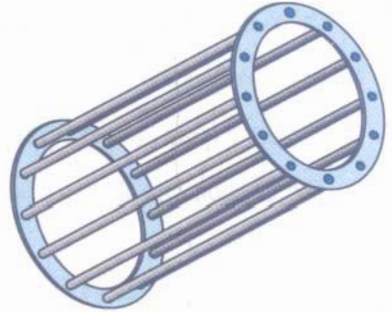
– Rôto là một hình trụ tạo bởi nhiều lá thép mỏng ghép cách điện với nhau. Trong các rãnh xẻ ở mặt ngoài rôto có đặt các thanh kim loại. Hai đầu mỗi thanh được nối vào các vành kim loại tạo thành một chiếc lồng (Hình 31.4). Lồng này cách điện với lõi thép và có tác dụng như nhiều khung dây đồng trục đặt lệch nhau. Rôto nói trên được gọi là *rôto lồng sóc*.

Khi mắc các cuộn dây ở stato với nguồn điện ba pha, từ trường quay tạo thành có tốc độ góc bằng tần số góc của dòng điện. Từ trường quay tác dụng lên dòng điện cảm ứng trong các khung dây ở rôto các momen lực làm rôto quay với tốc độ nhỏ hơn tốc độ quay của từ trường. Chuyển động quay của rôto được sử dụng để làm quay các máy khác.

Công suất tiêu thụ của động cơ điện ba pha bằng công suất tiêu thụ của ba cuộn dây ở stato cộng lại. Hiệu suất của động cơ được xác định bằng tỉ số giữa công suất cơ học $\mathscr{P}_i$ mà động cơ sinh ra và công suất tiêu thụ $\mathscr{P}$ của động cơ :

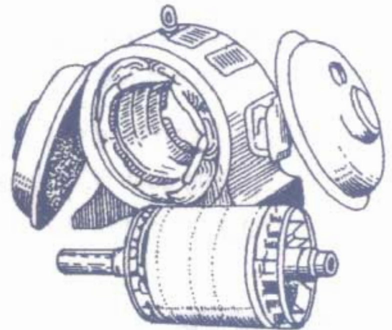
$$H = \frac{\mathscr{P}_i}{\mathscr{P}} \qquad (31.1)$$

chứng minh được cảm ứng từ tổng hợp $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$ có độ lớn là $1,5B_0$ và quay đều với tốc độ góc ω.



Hình 31.4 Lồng kim loại của một rôto lồng sóc.

C2 Tại sao rôto có lõi thép hình trụ lại được tạo bởi nhiều lá thép mỏng ghép cách điện với nhau và với lồng kim loại ?



Hình 31.5 Các bộ phận của một động cơ không đồng bộ ba pha.

CÂU HỎI

1. Mô tả thiết bị tạo ra từ trường quay bằng dòng điện ba pha.

2. Nêu cấu tạo và hoạt động của động cơ không đồng bộ ba pha.



BÀI TẬP

1. Chọn phát biểu đúng.

A. Chỉ có dòng điện ba pha mới tạo được từ trường quay.

B. Rôto của động cơ không đồng bộ quay với tốc độ góc của từ trường quay.

C. Từ trường quay trong động cơ không đồng bộ luôn thay đổi cả về hướng và trị số.

D. Tốc độ góc của động cơ không đồng bộ phụ thuộc vào tốc độ quay của từ trường và momen cản.

2. Phát biểu nào sau đây về động cơ không đồng bộ ba pha là **sai** ?

A. Hai bộ phận chính của động cơ là rôto và stato.

B. Bộ phận tạo ra từ trường quay là stato.

C. Nguyên tắc hoạt động của động cơ chỉ dựa trên tương tác từ giữa nam châm và dòng điện.

D. Có thể chế tạo động cơ không đồng bộ ba pha với công suất lớn.

3. Một động cơ điện xoay chiều tiêu thụ công suất 1,5 kW và có hiệu suất 80%. Tính công cơ học do động cơ sinh ra trong 30 phút.

4. Một động cơ không đồng bộ ba pha mắc theo kiểu hình sao vào mạch điện ba pha có điện áp pha là 220 V. Công suất điện của động cơ là 5,7 kW ; hệ số công suất của động cơ là 0,85. Tính cường độ dòng điện chạy qua mỗi cuộn dây của động cơ.

Em có biết ?

Từ trường quay còn có thể được tạo ra nhờ mạng điện một pha, để làm quay rôto của các động cơ không đồng bộ một pha. Stato của loại động cơ này có hai cuộn dây giống nhau, đặt vuông góc với nhau, một cuộn dây nối trực tiếp với mạng điện, cuộn dây kia được nối với mạng điện qua một tụ điện. Với cách bố trí đó, từ trường do hai cuộn dây tạo ra có phương vuông góc với nhau và biến thiên lệch pha nhau 90°, từ trường tổng hợp là một từ trường quay. Loại động cơ này có công suất nhỏ và thường dùng trong các dụng cụ gia đình như quạt điện, bơm điện...

Các động cơ có công suất lớn trong công nghiệp thường là các động cơ không đồng bộ ba pha.

32 MÁY BIẾN ÁP
TRUYỀN TẢI ĐIỆN NĂNG

Máy biến áp là gì ? Vì sao trong hệ thống truyền tải điện năng đi xa không thể thiếu máy biến áp ? Bài này giúp ta giải đáp câu hỏi đó.

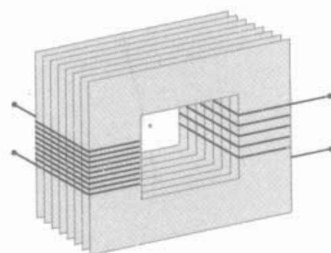
1. Máy biến áp

Máy biến áp là thiết bị hoạt động dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi điện áp xoay chiều mà không làm thay đổi tần số của nó.

Người ta còn gọi máy biến áp là máy biến thế.

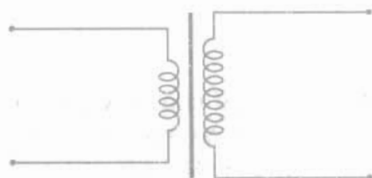
a) Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động

Máy biến áp gồm hai cuộn dây có số vòng khác nhau quấn trên một lõi sắt kín (Hình 32.1). Lõi thường làm bằng các lá sắt hoặc thép pha silic, ghép cách điện với nhau để giảm hao phí điện năng do dòng Fu-cô. Các cuộn dây thường làm bằng đồng, đặt cách điện với nhau và được cách điện với lõi.



Hình 32.1 Sơ đồ cấu tạo của máy biến áp.

Hoạt động của máy biến áp dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Một trong hai cuộn của máy biến áp được nối với nguồn điện xoay chiều, được gọi là *cuộn sơ cấp*. Cuộn thứ hai được nối với tải tiêu thụ điện năng, được gọi là *cuộn thứ cấp*. Dòng điện xoay chiều chạy trong cuộn sơ cấp gây ra từ thông biến thiên qua cuộn thứ cấp, làm xuất hiện trong cuộn thứ cấp một suất điện động xoay chiều. Nếu mạch thứ cấp kín thì có dòng điện chạy trong cuộn thứ cấp.



Hình 32.2 Kí hiệu máy biến áp trong mạch điện.

b) Sự biến đổi điện áp và cường độ dòng điện qua máy biến áp

Trong các công thức dưới đây, các đại lượng và các thông số ở đầu vào (nối với cuộn sơ cấp) được ghi bằng chỉ số 1, ở đầu ra (nối với cuộn thứ cấp) được ghi bằng chỉ số 2.

Có thể thay cuộn sơ cấp và thứ cấp bằng một cuộn dây có nhiều đầu ra (một cặp đầu dây nối với mạch sơ cấp, các cặp khác nối với mạch thứ cấp). Đó là *biến áp tự ngẫu* thường được dùng trong đời sống.

Với lõi sắt kín, hầu như mọi đường sức từ chỉ chạy trong lõi sắt nên từ thông qua mỗi vòng dây ở

cả hai cuộn bằng nhau, suất điện động cảm ứng trong mỗi vòng dây cũng bằng nhau. Như vậy, suất điện động cảm ứng trong mỗi cuộn dây tỉ lệ với số vòng dây N_1, N_2 của chúng :

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (32.1)$$

Tỉ số giữa các suất điện động tức thời không đổi nên tỉ số giữa các giá trị hiệu dụng cũng bằng tỉ số ấy :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (32.2)$$

Nếu bỏ qua điện trở của dây quấn thì có thể coi điện áp hiệu dụng ở hai đầu mỗi cuộn dây bằng suất điện động hiệu dụng tương ứng trong mỗi cuộn :

$$U_1 = E_1, \quad U_2 = E_2$$

Do đó :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (32.3)$$

C1 Hiệu suất của máy biến áp trong thực tế có thể đạt tới 98÷99%. Hãy viết biểu thức tính hiệu suất của máy biến áp và giải thích vì sao nó có thể đạt giá trị lớn.

Nếu $N_2 > N_1$ thì $U_2 > U_1$, ta gọi máy biến áp là *máy tăng áp*. Nếu $N_2 < N_1$ thì $U_2 < U_1$, ta gọi máy biến áp là *máy hạ áp*. Nếu hao phí điện năng trong máy biến áp không đáng kể thì công suất của dòng điện trong mạch sơ cấp và trong mạch thứ cấp có thể coi bằng nhau.

Để cho đơn giản, ta giả thiết hệ số công suất của mạch sơ cấp và của mạch thứ cấp bằng nhau. Từ điều kiện bằng nhau về công suất của hai mạch, ta suy ra công thức (32.4).

Như vậy :

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \qquad (32.4)$$

hay

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \qquad (32.5)$$

C2 Đối với máy tăng áp, nên dùng dây của cuộn thứ cấp là loại có đường kính to hơn hay nhỏ hơn dây của cuộn sơ cấp ? Vì sao ?

Do đó, máy biến áp làm tăng điện áp lên bao nhiêu lần thì làm giảm cường độ dòng điện đi bấy nhiêu lần và ngược lại.

2. Truyền tải điện năng

Điện năng truyền tải đi xa thường bị tiêu hao đáng kể, chủ yếu do toả nhiệt trên đường dây. Gọi R là điện trở đường dây, $\mathscr{P}$ là công suất truyền đi, U là điện áp ở nơi phát, $\cos\varphi$ là hệ số công suất của mạch điện thì công suất hao phí trên dây là :

$$\Delta\mathscr{P} = RI^2$$

$$\Delta\mathscr{P} = R\frac{\mathscr{P}^2}{(U\cos\varphi)^2} \quad (32.6)$$

Công thức trên chứng tỏ rằng, với cùng một công suất và một điện áp truyền đi, với điện trở đường dây xác định, mạch có hệ số công suất lớn thì công suất hao phí nhỏ.

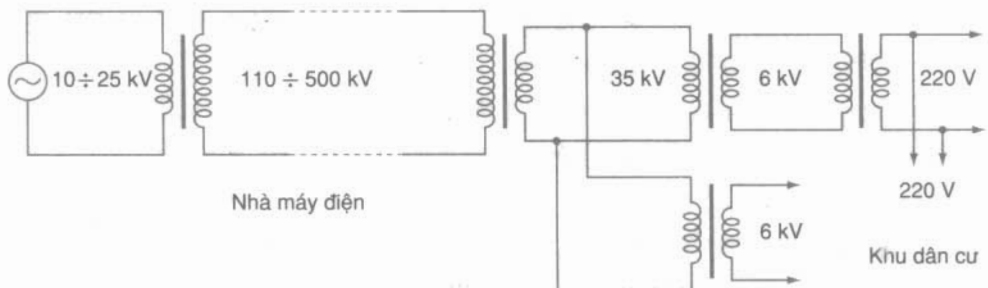
Đối với một hệ thống truyền tải điện năng với $\cos\varphi$ *và* $\mathscr{P}$ *xác định, có hai cách giảm* $\Delta\mathscr{P}$.

Cách thứ nhất : giảm điện trở R của đường dây. Đây là cách làm tốn kém vì phải tăng tiết diện của dây, do đó tốn nhiều kim loại làm dây và phải tăng sức chịu đựng của các cột điện.

Cách thứ hai : tăng điện áp U ở nơi phát điện và giảm điện áp ở nơi tiêu thụ điện tới giá trị cần thiết. Cách này có thể thực hiện đơn giản bằng máy biến áp, do đó được áp dụng rộng rãi.

Hiệu suất truyền tải điện năng được đo bằng tỉ số giữa công suất điện nhận được ở nơi tiêu thụ và công suất điện truyền đi ở nơi phát điện.

Điện áp ở đầu ra của nhà máy điện thường vào khoảng 10 ÷ 25 kV. Trước khi truyền tải điện năng đi xa, điện áp thường được tăng đến giá trị trong khoảng 110 ÷ 500 kV bằng máy tăng áp. Ở gần nơi tiêu thụ, người ta dùng các máy hạ áp để giảm điện áp xuống các mức phù hợp với đường dây tải điện của địa phương và yêu cầu sử dụng. Mức cuối cùng dùng trong các gia đình, công sở là 220 V (Hình 32.3).



Hình 32.3 Một sơ đồ truyền tải và phân phối điện năng.

CÂU HỎI

1. Nêu đặc điểm của sự biến đổi điện áp và cường độ dòng điện qua máy biến áp.

2. Nêu các cách chủ yếu làm giảm điện năng hao phí :

   a) Trong máy biến áp.

   b) Trong truyền tải điện năng đi xa.

BÀI TẬP

1. Một máy biến áp có cuộn thứ cấp mắc với một điện trở thuần, cuộn sơ cấp mắc với nguồn điện xoay chiều. Điện trở của các cuộn dây và hao phí điện năng ở máy không đáng kể. Nếu tăng trị số của điện trở mắc với cuộn thứ cấp lên hai lần thì

   A. cường độ hiệu dụng của dòng điện chạy trong cuộn thứ cấp giảm hai lần, trong cuộn sơ cấp không đổi.

   B. điện áp ở hai đầu cuộn sơ cấp và thứ cấp đều tăng hai lần.

   C. suất điện động cảm ứng trong cuộn thứ cấp tăng hai lần, trong cuộn sơ cấp không đổi.

   D. công suất tiêu thụ điện ở mạch sơ cấp và thứ cấp đều giảm hai lần.

2. Chọn phát biểu **sai**.

   Trong quá trình truyền tải điện năng đi xa, công suất hao phí

   A. tỉ lệ với thời gian truyền điện.

   B. tỉ lệ với chiều dài đường dây tải điện.

   C. tỉ lệ nghịch với bình phương điện áp giữa hai đầu dây ở trạm phát điện.

   D. tỉ lệ với bình phương công suất truyền đi.

3. Cuộn sơ cấp của một máy biến áp được nối với mạng điện xoay chiều có điện áp 380 V. Cuộn thứ cấp có dòng điện cường độ 1,5 A chạy qua và có điện áp giữa hai đầu dây là 12 V. Biết số vòng dây của cuộn thứ cấp là 30. Tính số vòng dây của cuộn sơ cấp và cường độ dòng điện chạy qua nó. Bỏ qua hao phí điện năng trong máy.

4. Điện năng ở một trạm phát điện được truyền đi dưới điện áp 2 kV và công suất truyền đi 200 kW. Hiệu số chỉ của các công tơ điện ở trạm phát và ở nơi thu sau mỗi ngày đêm lệch nhau thêm 480 kW.h.

   a) Tính công suất điện hao phí trên đường dây tải điện.

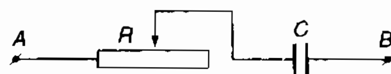
   b) Cần tăng điện áp ở trạm phát đến giá trị nào để điện năng hao phí trên đường dây chỉ bằng 2,5 % điện năng truyền đi ? Coi công suất truyền đi ở trạm phát điện không đổi.



BÀI TẬP VỀ DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU

Bài tập 1

Đoạn mạch AB vẽ ở Hình 33.1 gồm một biến trở và một tụ điện có điện dung C = 61,3 μF mắc nối tiếp. Đặt vào hai đầu A, B một điện áp xoay chiều u = 120cos100πt (V).



Hình 33.1

1. Điều chỉnh cho điện trở của biến trở có giá trị R_1 = 30 Ω.

a) Tính tổng trở của đoạn mạch.

b) Viết biểu thức của cường độ dòng điện tức thời trong đoạn mạch.

2. Cần điều chỉnh cho điện trở của biến trở đến giá trị nào để công suất trên biến trở đạt cực đại ? Tính giá trị cực đại đó.

Bài giải

1. a) Dung kháng của tụ điện là : $Z_C = \dfrac{1}{\omega C} \approx 52\ \Omega$.

Đoạn mạch gồm điện trở thuần và tụ điện mắc nối tiếp nên có tổng trở :

$$Z = \sqrt{R_1^2 + Z_C^2} \approx 60\ \Omega$$

b) Dòng điện biến đổi với tần số góc bằng tần số góc của điện áp, đó là ω =100π (rad/s). Do đó, để viết biểu thức $i(t)$ của cường độ dòng điện, ta còn phải tìm biên độ của cường độ dòng điện I_0 và độ lệch pha φ của u đối với i.

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} \approx 2\ \text{A}.$$

$$\tan\varphi = \frac{-Z_C}{R} \approx -1,73 \approx -\sqrt{3},\ \text{do đó}\ \varphi \approx -\frac{\pi}{3}.$$

Biểu thức của cường độ dòng điện là :

$$i = I_0\cos(100\pi t - \varphi) = 2\cos(100\pi t + \frac{\pi}{3})\ \text{(A)}$$

2. Trước hết, ta lập công thức tính công suất tiêu thụ điện trên biến trở theo điện trở R của biến trở :

$$\mathcal{P} = RI^2 = R\frac{U^2}{R^2 + Z_C^2}$$

Có thể biến đổi :

$$\mathscr{P} = \frac{U^2}{R + \frac{Z_C^2}{R}}$$

Vì R và $\frac{Z_C^2}{R}$ là các số dương nên có thể áp dụng bất đẳng thức Cô-si :

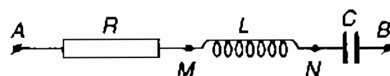
$$\left(R + \frac{Z_C^2}{R}\right) \geq 2Z_C$$

Đẳng thức xảy ra khi $R = Z_C \approx 52\ \Omega$. Thay vào công thức tính công suất, ta tìm được công suất cực đại trên biến trở :

$$\mathscr{P}_{max} = \frac{U^2}{2Z_C} \approx 69\ \text{W}$$

Bài tập 2

Một đoạn mạch điện AB gồm một điện trở thuần $R = 100\ \Omega$, một cuộn cảm thuần và một tụ điện mắc nối tiếp (Hình 33.2). Biết điện áp hiệu dụng giữa hai đầu điện trở, cuộn cảm, tụ điện lần lượt là $U_R = 50$ V ; $U_L = 50$ V ; $U_C = 87{,}5$ V ; tần số dòng điện là 50 Hz.



Hình 33.2

a) Tính độ tự cảm của cuộn cảm và điện dung của tụ điện.

b) Tính tổng trở của đoạn mạch AB và điện áp hiệu dụng U_{AB}.

c) Vẽ giản đồ Fre-nen. Căn cứ vào giản đồ để : tìm độ lệch pha của điện áp giữa hai điểm A và N so với với điện áp giữa hai điểm M và B ; tìm lại U_{AB}.

Bài giải

a) Vì $I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_L}{Z_L}$ nên :

– Cảm kháng : $Z_L = R\frac{U_L}{U_R} = 100\ \Omega$;

– Độ tự cảm : $L = \frac{Z_L}{\omega} \approx 0{,}318$ H.

Tương tự, ta có :

– Dung kháng : $Z_C = R\frac{U_C}{U_R} = 175\ \Omega$;

– Điện dung của tụ điện : $C = \frac{1}{\omega Z_C} \approx 18,2\ \mu F$.

b) Vì AB là đoạn mạch RLC nối tiếp, nên có tổng trở :

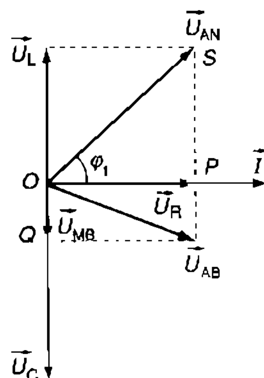
$$Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2} = 125\ \Omega$$

$$U_{AB} = IZ = \frac{50}{100}.125 = 62,5\ V$$

c) Giản đồ Fre-nen vẽ như Hình 33.3, trong đó :

$$\vec{U}_{AN} = \vec{U}_R + \vec{U}_L$$

$$\vec{U}_{MB} = \vec{U}_L + \vec{U}_C$$



Hình 33.3

Xét tam giác vuông OSP có $OP = U_R$, $SP = U_L$, ta có :

$$\tan\varphi_1 = \frac{U_L}{U_R} = 1 \quad ; \quad \varphi_1 = \frac{\pi}{4}$$

Góc tạo bởi hai vectơ $\vec{U}_{MB}$ và $\vec{U}_{AN}$ là $\varphi_1 + \frac{\pi}{2} = \frac{3\pi}{4}$.

Vectơ $\vec{U}_{AN}$ lập với vectơ $\vec{U}_{MB}$ một góc $\frac{3\pi}{4}$ theo chiều dương. Vậy điện áp giữa A và N sớm pha $\frac{3\pi}{4}$ so với điện áp giữa M và B.

$$U_{AB} = \sqrt{(OP)^2 + (OQ)^2} = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{50^2 + (50 - 87,5)^2} = 62,5\ V$$

Bài tập 3

Một đoạn mạch chứa hai trong ba phần tử : tụ điện, điện trở thuần, cuộn cảm thuần mắc nối tiếp. Biết điện áp giữa hai đầu đoạn mạch và cường độ dòng điện qua nó lần lượt có biểu thức :

$$u = 60\cos 100\pi t\ (V)$$

$$i = 0,5\sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{6}\right)\ (A)$$

a) Hỏi trong đoạn mạch có các phần tử nào ? Tính dung kháng, cảm kháng hoặc điện trở tương ứng với mỗi phần tử đó.

b) Tính công suất tiêu thụ của đoạn mạch.

Bài giải

a) Trước hết, cần tìm độ lệch pha của điện áp so với cường độ dòng điện. Muốn vậy, ta biến đổi biểu thức của cường độ dòng điện :

$$i = 0{,}5\sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{6}\right) = 0{,}5\cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{6} - \frac{\pi}{2}\right) = 0{,}5\cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{3}\right) \text{ (A)}$$

So sánh các biểu thức của u và i, ta thấy điện áp sớm pha một góc $\varphi = \frac{\pi}{3}$ so với cường độ dòng điện. Đoạn mạch có tính cảm kháng nên gồm cuộn cảm thuần và điện trở thuần mắc nối tiếp.

Từ giả thiết ta có : $U_0 = 60$ V, $I_0 = 0{,}5$ A. Từ đó, suy ra các giá trị hiệu dụng :

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = \frac{60}{\sqrt{2}} \text{ (V)} ; I = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{0{,}5}{\sqrt{2}} \text{ (A)}$$

Theo định luật Ôm, tổng trở của đoạn mạch là $Z = \frac{U}{I} = 120\ \Omega$.

Gọi Z_L là cảm kháng của cuộn cảm, R là điện trở, ta có hệ phương trình sau :

$$Z = \sqrt{R^2 + Z_L^2} = 120\ \Omega$$

$$\tan\varphi = \frac{Z_L}{R} = \sqrt{3}$$

Giải hệ phương trình, ta được : $R = 60\ \Omega$, $Z_L = 60\sqrt{3}\ \Omega \approx 104\ \Omega$.

b) Công suất tiêu thụ của đoạn mạch là :

$$\mathscr{P} = UI\cos\varphi = \frac{60}{\sqrt{2}}.\frac{0{,}5}{\sqrt{2}}.\cos\frac{\pi}{3} = 7{,}5 \text{ W}$$

Bài tập 4

Một khung dây dẫn phẳng gồm 50 vòng dây, mỗi vòng có diện tích 400 cm^2 đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ bằng 0,05 T. Lúc $t = 0$ pháp tuyến của khung dây có cùng hướng với vectơ cảm ứng từ. Cho khung dây quay với tốc độ không đổi 600 vòng/phút. Trục quay của khung vuông góc với các đường sức từ.

a) Viết biểu thức của từ thông qua mỗi vòng dây theo thời gian.

b) Lập biểu thức của suất điện động cảm ứng tức thời trong khung dây. Lấy $\pi = 3{,}14$.

c) Nối hai đầu khung dây với điện trở thuần $R = 40\ \Omega$. Điện trở của khung dây không đáng kể. Tính cường độ hiệu dụng của dòng điện qua điện trở.

Bài giải

a) Theo giả thiết, diện tích vòng dây $S = 400$ cm^2 $= 4.10^{-2}$ m^2, số vòng dây $N = 50$ vòng, cảm ứng

từ $B = 0{,}05$ T $= 5.10^{-2}$ T, tốc độ quay của rôto $n = 600$ vòng/phút = 10 vòng/s.

Vào thời điểm t, góc giữa pháp tuyến khung dây và cảm ứng từ là $\alpha = 2\pi nt$, do đó từ thông qua một vòng dây là :

$$\Phi_1 = BS\cos\alpha = BS\cos 2\pi nt = 5.10^{-2}.\ 4.10^{-2}\cos 2\pi.10t = 2.10^{-3}\cos 20\pi t \text{ (Wb)}$$

b) Vì khung dây có N vòng giống nhau nên trong khung có suất điện động :

$$e = -N\frac{d\Phi_1}{dt} = NBS2\pi n\sin 2\pi nt$$

Thay số, ta có : $e = 6{,}28\sin 20\pi t$ (V).

c) Suất điện động hiệu dụng là : $E = \dfrac{E_0}{\sqrt{2}} = \dfrac{6{,}28}{\sqrt{2}} \approx 4{,}4$ V.

Cường độ hiệu dụng là : $I = \dfrac{E}{R} \approx 0{,}11$ A.

Bài tập 5

Một đường dây tải điện xoay chiều một pha đến nơi tiêu thụ ở xa 3 km. Giả thiết dây dẫn làm bằng nhôm có điện trở suất $\rho = 2{,}5.10^{-8}$ Ω.m và có tiết diện 0,5 cm^2. Điện áp và công suất truyền đi ở trạm phát điện lần lượt là $U = 6$ kV, $\mathcal{P} = 540$ kW. Hệ số công suất của mạch điện là $\cos\varphi = 0{,}9$. Hãy tìm công suất hao phí trên đường dây và hiệu suất truyền tải điện năng.

Bài giải

Dây tải điện có chiều dài tổng cộng là $l = 6$ km $= 6\,000$ m nên có điện trở :

$$R = \rho\frac{l}{S} = 2{,}5.10^{-8}.\ \frac{6.10^3}{0{,}5.10^{-4}} = 3\ \Omega$$

Cường độ dòng điện trên dây : $I = \dfrac{\mathcal{P}}{U\cos\varphi} = 100$ A.

Công suất hao phí trên dây : $\Delta\mathcal{P} = RI^2 = 30$ kW.

Hiệu suất truyền tải điện năng là : $H = \dfrac{\mathcal{P} - \Delta\mathcal{P}}{\mathcal{P}} \approx 94{,}4$ %.

BÀI ĐỌC THÊM

SẢN XUẤT ĐIỆN

Hiện nay, việc sản xuất điện được thực hiện bởi nhiều loại nhà máy điện, trong đó cơ năng vận hành máy phát điện được lấy từ nhiều nguồn năng lượng khác nhau.

Trong các nhà máy nhiệt điện, cơ năng được cung cấp bởi các động cơ nhiệt như tuabin hơi nước, tuabin khí hoặc các động cơ đốt trong. Nhiên liệu dùng là than, khí đốt, dầu. Than đá được nghiền nhỏ, phun thành bụi vào lò để cháy được hầu hết. Hơi nước được tạo thành ở nhiệt độ và áp suất cao dùng làm quay tuabin hơi nước, tuabin lại làm quay rôto của máy phát điện. Dòng điện trước khi đưa lên đường dây cao thế được tăng điện áp bằng máy biến áp.

Nếu nhiệt lượng đun nóng các lò hơi được lấy từ các lò phản ứng hạt nhân của nhà máy thì ta gọi đó là nhà máy điện nguyên tử. Phát triển loại nhà máy này sẽ khắc phục được việc thiếu các nhiên liệu thông thường, nhưng phải giải quyết các vấn đề phức tạp, đó là sự an toàn và xử lí phế thải để bảo vệ môi trường. Một nhà máy điện nguyên tử công suất 1 000 MW trung bình một năm thải ra 800 tấn chất phóng xạ có hoạt độ phóng xạ thấp và 30 tấn vật liệu đã cháy có hoạt độ cao, khó phân huỷ.

Trong các nhà máy thuỷ điện, nước chảy từ một độ cao của hồ chứa nước làm quay tuabin nước, vận hành máy phát điện. Như vậy, thế năng của nước trong hồ chứa đã chuyển thành điện năng.

Nhà máy thuỷ điện chỉ có thể xây dựng ở nơi có trữ lượng nước lớn và có địa thế thích hợp để tạo hồ chứa nước. Các nhà máy thuỷ điện không chỉ làm nhiệm vụ sản xuất điện năng mà còn có các nhiệm vụ khác như chống lũ, chống hạn, đảm bảo tưới tiêu cho các vùng nông nghiệp.

Ngoài nhà máy thuỷ điện còn có các nhà máy điện chạy bằng sức gió, chạy bằng năng lượng mặt trời, chạy bằng nhiệt lấy từ lòng đất, chạy bằng năng lượng sóng biển..., gọi chung là năng lượng tái tạo. Tuy thiết bị của nhà máy đắt hoặc việc xây dựng tốn kém, nhưng các loại nhà máy này đang được nhiều nước quan tâm, vì ưu thế nổi bật của chúng là không sử dụng nhiên liệu và không gây ô nhiễm môi trường.

34 THỰC HÀNH :
KHẢO SÁT ĐOẠN MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU CÓ *R*, *L*, *C* MẮC NỐI TIẾP

1. Mục đích

• Hiểu được hai phương án khảo sát mạch xoay chiều bằng thực nghiệm, hiểu ý nghĩa thực tế của những đại lượng cơ bản là trở kháng, sự lệch pha, hiện tượng cộng hưởng điện.

• Dùng được dao động kí điện tử, máy phát âm tần và các dụng cụ đo thông thường để làm thực nghiệm, liên hệ giữa các phép đo cụ thể với việc vẽ giản đồ Fre-nen.

• Bằng thực nghiệm, củng cố kiến thức về dao động điện từ, kĩ năng lựa chọn phương án và sử dụng dụng cụ đo.

2. Cơ sở lí thuyết

• Tác dụng đặc biệt của tụ điện và cuộn cảm trong mạch điện xoay chiều khác với trong mạch điện một chiều. Ý nghĩa của trở kháng.

• Công thức tính trở kháng, tổng trở và độ lệch pha của mạch điện xoay chiều :

$$Z_C = \frac{1}{\omega C} \quad ; \quad Z_L = \omega L \quad ; \quad Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad ; \quad \tan\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

• Điều kiện cộng hưởng trong mạch dao động điện :

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Khi cộng hưởng, biên độ dao động đạt giá trị cực đại. Giá trị cực đại phụ thuộc vào độ lớn của điện trở thuần R trong mạch.

• Biểu diễn các đại lượng bằng giản đồ Fre-nen.

3. Phương trình thí nghiệm

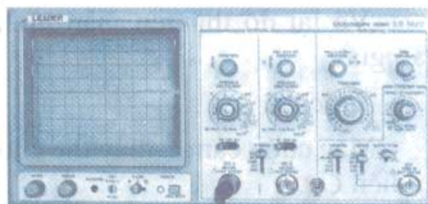
a) Phương án 1 : Dùng dao động kí điện tử

• Dụng cụ thí nghiệm

– Hai điện trở cỡ 2 kΩ.

– Một tụ điện cỡ 2 μF.

– Một cuộn tự cảm cỡ 0,5 H.



Hình 34.1 Dao động kí điện tử.

– Một dao động kí điện tử hai chùm tia (Hình 34.1).

– Một máy phát âm tần (Hình 34.2).

– Một bộ nguồn điện đa năng (một chiều, xoay chiều, có điều chỉnh).

– Giấy kẻ ô milimét.

(Chủ đề này có thể thực hiện bằng thí nghiệm ảo khá hiệu quả).

• Tiến trình thí nghiệm

Bước 1 :

+ Kiểm tra các dụng cụ, tìm hiểu cách điều chỉnh dao động kí điện tử phù hợp với yêu cầu của phương án thí nghiệm này.

+ Điều chỉnh máy phát âm tần có tần số phát 400 Hz, dạng sin, cỡ 5 V.

– *Bước 2 :*

+ Mắc mạch điện theo sơ đồ (Hình 34.3).

+ Điều chỉnh dao động kí để quan sát đồng thời hai đồ thị của hai dao động *cùng pha*. Nên điều chỉnh để hiển thị hai chu kì.

+ Vẽ lại đồ thị trên màn hình vào giấy.

– *Bước 3 :*

+ Mắc tụ điện C vào thay thế cho R_2 và sửa lại mạch điện như Hình 34.4.

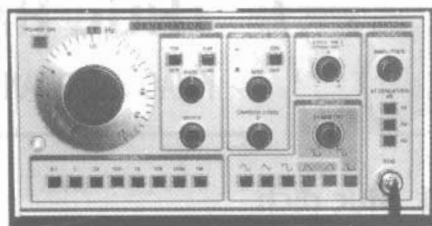
+ Điều chỉnh để quan sát đồng thời đồ thị của hai dao động *lệch pha* do tụ điện.

+ Vẽ lại đồ thị trên màn hình vào giấy.

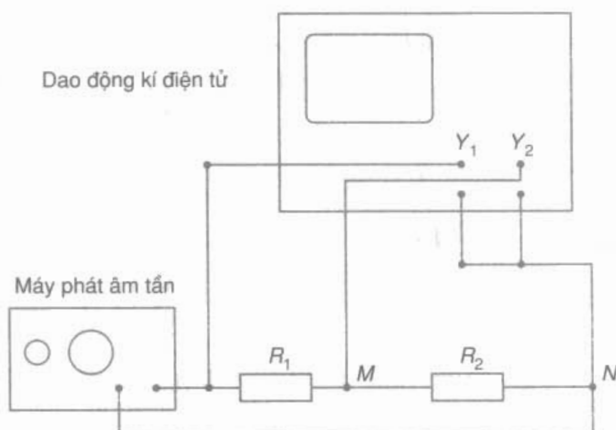
– *Bước 4 :*

+ Mắc cuộn cảm L thay thế cho tụ điện C.

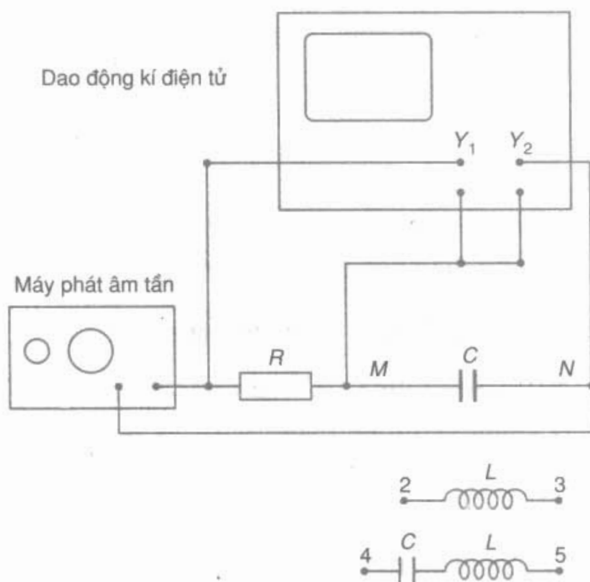
+ Điều chỉnh để quan sát đồng thời đồ thị của hai dao động lệch pha do cuộn cảm.



Hình 34.2 Máy phát âm tần.



Hình 34.3 Mạch điện khảo sát hai dao động cùng pha.



Hình 34.4 Mạch điện khảo sát hai dao động lệch pha.

+ Vẽ lại đồ thị trên màn hình vào giấy.

– *Bước 5 :*

+ Mắc thêm tụ điện C nối tiếp với L tạo thành mạch RLC.

+ Suy nghĩ thay đổi cách mắc với dao động kí để quan sát đồng thời đồ thị của hai dao động lệch pha do R, L, C.

+ Vẽ lại đồ thị trên màn hình vào giấy.

+ Căn cứ vào các ô trên màn hình suy ra giá trị về biên độ rồi ghi vào bản vẽ của các đồ thị và ước lượng về các độ lệch pha trong các mạch điện đã quan sát.

b) Phương án 2 : Dùng vôn kế và ampe kế xoay chiều để khảo sát định lượng

• Dụng cụ thí nghiệm

– Một tụ điện cỡ 10 μF.

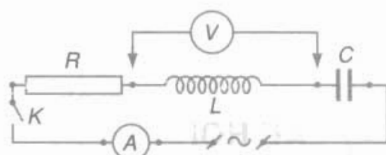
– Một cuộn cảm cỡ 0,5 H có điện trở thuần cỡ 20 Ω.

– Một ampe kế xoay chiều.

– Một vôn kế xoay chiều.

– Một nguồn xoay chiều 50 Hz – 24 V có điều chỉnh.

– Một ngắt điện đơn.



Hình 34.5

• Tiến trình thí nghiệm

– *Bước 1 :* Kiểm tra các dụng cụ, mắc mạch điện theo sơ đồ (Hình 34.5).

– *Bước 2 :* Điều chỉnh nguồn có điện áp U_1 tuỳ chọn. Dùng vôn kế đo lần lượt các điện áp ở các dụng cụ...

– *Bước 3 :*

+ Lặp lại hai lần nữa với điện áp nguồn U_2, U_3 rồi đo như trên.

+ Ghi số liệu : qua ba lần đo.

Bảng 34.1

Lần đo	I	U_R	U_L	U_C	U_{RLC}
Với nguồn U_1					
Với nguồn U_2					
Với nguồn U_3					

– *Bước 4 :*

+ Từ các giá trị trên, tính các trở kháng Z_L, Z_C, Z toàn mạch.

+ Tìm giá trị thích hợp của tụ C để có trạng thái cộng hưởng.

+ Minh hoạ bằng giản đồ Fre-nen.

4. Báo cáo thí nghiệm

a) Mục đích thí nghiệm.

b) Cơ sở lí thuyết của hai phương án thí nghiệm.

c) Tiến trình thí nghiệm đã thực hiện.

d) Kết quả thí nghiệm : Bảng số liệu, đồ thị, giản đồ Fre-nen, kết quả và sai số.

e) Nhận xét về ưu, nhược điểm của phương án thí nghiệm.

CÂU HỎI

1. Khi thực hiện bước 5 của phương án 1, ta phải thay đổi cách mắc với dao động kí như thế nào để quan sát được sự lệch pha giữa điện áp và cường độ dòng điện do cả R, L, C gây ra ? Tại sao ?
2. Với các dụng cụ như ở phương án 1, bạn hãy đề xuất một cách đơn giản nhất để có thể quan sát được hiện tượng cộng hưởng điện.

BÀI TẬP

1. Trong thí nghiệm tương tự phương án 2 thì có thể xảy ra khả năng

   A. điện áp trên mỗi dụng cụ nhỏ hơn điện áp nguồn.

   B. điện áp trên mỗi dụng cụ lớn hơn điện áp nguồn.

   C. cường độ dòng điện luôn lệch pha với điện áp nguồn.

   D. cường độ dòng điện cùng pha với điện áp nguồn.

   Hãy tìm câu **sai** trong các câu trên và giải thích.

2. Trong phương án 2, nếu ampe kế không phải là lí tưởng thì sẽ gây ra sai lệch cho

   A. trị số của L. B. trị số của R.

   C. trị số của C. D. cả ba trị số trên.

TÓM TẮT CHƯƠNG V

1. Điện áp biến đổi điều hoà theo thời gian là điện áp xoay chiều :

$$u = U_0 \cos \omega t$$

Khi đặt điện áp xoay chiều vào hai đầu của một đoạn mạch điện, trong mạch có một dao động điện từ cưỡng bức. Đó là dòng điện xoay chiều biến đổi cùng tần số nhưng nói chung lệch pha so với điện áp :

$$i = I_0 \cos(\omega t - \varphi)$$

với φ là độ lệch pha của u so với i.

2. Các giá trị hiệu dụng của dòng xoay chiều nhỏ hơn các biên độ tương ứng $\sqrt{2}$ lần :

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \; ; U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \; ; I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

3. Các công thức dùng cho một đoạn mạch xoay chiều :

– Công suất toả nhiệt : $\mathcal{P}_R = RI^2$.

– Công suất điện : $\mathcal{P} = UI\cos\varphi$.

– Công thức của định luật Ôm : $I = \dfrac{U}{Z}$.

4. Các công thức dùng cho một đoạn mạch RLC nối tiếp để xác định :

– Điện áp hiệu dụng : $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$.

– Tổng trở : $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$.

– Độ lệch pha của u so với i : $\tan\varphi = \dfrac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R}$.

– Hệ số công suất : $\cos\varphi = \dfrac{R}{Z}$.

– Điều kiện cộng hưởng điện : $\omega L = \frac{1}{\omega C}$.

5. Các máy phát điện xoay chiều hoạt động nhờ hiện tượng cảm ứng điện từ và đều có hai bộ phận chính là phần ứng và phần cảm. Suất điện động của máy phát điện được xác định theo công thức : $e = -\frac{d\Phi}{dt}$, với Φ là từ thông qua các cuộn dây của phần ứng.

6. Dòng điện xoay chiều ba pha là hệ thống ba dòng điện xoay chiều, gây bởi ba suất điện động cùng tần số, cùng biên độ nhưng lệch nhau từng đôi một về pha là $\frac{2\pi}{3}$.

Đối với máy phát điện xoay chiều ba pha, ba cuộn dây của phần ứng giống nhau và được đặt lệch nhau 120^o trên một vòng tròn. Nếu nối mạng điện xoay chiều ba pha với ba cuộn dây giống nhau đặt lệch nhau 120^o trên một vòng tròn thì ta thu được một từ trường quay. Nguyên tắc hoạt động của động cơ không đồng bộ ba pha dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ và tác dụng của từ trường quay.

7. Máy biến áp là thiết bị hoạt động dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi điện áp xoay chiều mà không làm thay đổi tần số của nó. Máy biến áp gồm hai cuộn dây quấn quanh một lõi sắt kín.

Nếu điện trở của các cuộn dây có thể bỏ qua thì điện áp hiệu dụng ở hai đầu mỗi cuộn dây tỉ lệ với số vòng dây :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Nếu điện năng hao phí của biến áp không đáng kể thì cường độ dòng điện qua mỗi cuộn dây tỉ lệ nghịch với điện áp ở hai đầu mỗi cuộn :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2}$$

8. Công suất hao phí trên của đường dây tải điện có điện trở R là $\Delta \mathscr{P} = R\frac{\mathscr{P}^2}{(U\cos\varphi)^2}$, trong đó U là điện áp và $\mathscr{P}$ là công suất truyền đi ở trạm phát điện. Để giảm điện năng hao phí, người ta thường dùng máy biến áp làm tăng điện áp trước khi truyền tải và làm giảm điện áp ở nơi tiêu thụ tới giá trị cần thiết.

CHƯƠNG VI

SÓNG ÁNH SÁNG

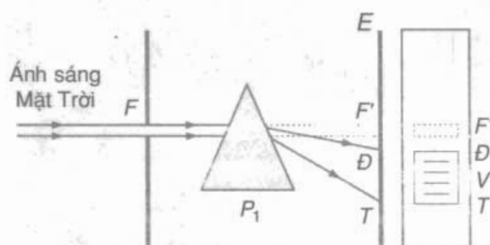


Cầu vồng ở Đà Lạt.

Nhiều hiện tượng quang học đã chứng tỏ ánh sáng có bản chất sóng và hơn thế nữa, ánh sáng chính là sóng điện từ có bước sóng ngắn hơn rất nhiều so với sóng vô tuyến điện. Chương này khảo sát một số các hiện tượng đó (hiện tượng tán sắc ánh sáng, hiện tượng giao thoa ánh sáng, hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng) và một số ứng dụng của chúng. Ngoài ra, ta còn khảo sát các tính chất và công dụng của các bức xạ không nhìn thấy (tia hồng ngoại, tia tử ngoại, tia X).

35 TÁN SẮC ÁNH SÁNG

Trong những ngày hè, khi cơn mưa vừa tạnh, trên bầu trời đôi khi xuất hiện cầu vồng nhiều màu sắc, vắt ngang vòm trời. Đó là kết quả của sự tán sắc ánh sáng Mặt Trời.



Hình 35.1 Thí nghiệm về sự tán sắc ánh sáng.

F là một khe hẹp nằm ngang ; E là màn song song với khe F ; P_1 là lăng kính thuỷ tinh.

Thí nghiệm này do Niu-tơn thực hiện lần đầu tiên năm 1672.

C1 So sánh hai hình ảnh nhìn thấy trên màn E trước và sau khi đặt lăng kính P_1 xen vào giữa F và E.

1. Thí nghiệm về tán sắc ánh sáng

a) Sơ đồ thí nghiệm

Thí nghiệm được bố trí như trên Hình 35.1.

Chiếu một chùm ánh sáng Mặt Trời qua khe hẹp F vào trong một buồng tối. Quan sát hình ảnh thu được trên màn E trước và sau khi đặt lăng kính P_1.

b) Kết quả thí nghiệm

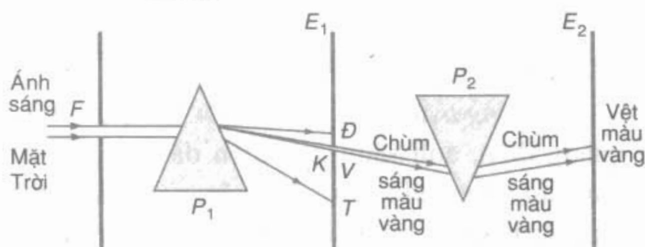
Khi đi qua lăng kính, chùm ánh sáng Mặt Trời không những bị lệch về phía đáy lăng kính (do khúc xạ), mà còn trải dài trên màn E thành một dải sáng liên tục nhiều màu. Quan sát kĩ dải sáng này, ta phân biệt được bảy màu chính, lần lượt từ trên xuống dưới là đỏ, cam, vàng, lục, lam, chàm, tím, đúng như bảy màu của cầu vồng (Hình 35.1).

Như vậy, chùm ánh sáng trắng của Mặt Trời, sau khi qua lăng kính, đã bị phân tách thành các chùm sáng có màu khác nhau. Chùm sáng màu đỏ bị lệch ít nhất ; chùm sáng màu tím bị lệch nhiều nhất. Hiện tượng này được gọi là *sự tán sắc ánh sáng*. Dải màu từ đỏ đến tím được gọi là quang phổ của ánh sáng Mặt Trời, hay vắn tắt hơn là *quang phổ của Mặt Trời*.

2. Ánh sáng trắng và ánh sáng đơn sắc

a) Thí nghiệm của Niu-tơn về ánh sáng đơn sắc

Để thử lại xem có phải là thuỷ tinh đã làm thay đổi màu sắc của ánh sáng trắng chiếu vào nó không, nhà bác học Niu-tơn đã làm thí nghiệm như sau : Tách ra một chùm có màu xác định (chùm màu vàng chẳng hạn) thu được trong thí nghiệm ở trên, rồi cho chùm này đi qua lăng kính P_2 giống hệt lăng kính P_1. Sơ đồ thí nghiệm như trên Hình 35.2.



Hình 35.2 Thí nghiệm về ánh sáng đơn sắc.

P_1 và P_2 là hai lăng kính giống hệt nhau có đáy ở hai phía (đặt ngược nhau). Màn E_1 có khe hẹp K song song với khe F, dùng để tách riêng một chùm sáng có màu xác định chiếu vào P_2 (xê dịch E_1 để đặt K vào đúng chỗ màu đó). Màn E_2 song song với E_1 nhận chùm sáng khúc xạ qua P_2.

Kết quả thí nghiệm đã cho thấy :

- Khi đi qua lăng kính P_2, một chùm sáng có màu xác định (chùm màu vàng chẳng hạn) bị lệch về phía đáy của P_2 (do bị khúc xạ), nhưng vẫn giữ nguyên màu, không bị tán sắc.

- Góc lệch của các chùm tia có màu khác nhau khi truyền qua lăng kính là khác nhau.

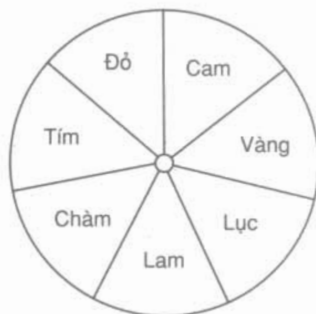
Niu-tơn gọi chùm sáng có màu xác định là *chùm sáng đơn sắc*.

Ánh sáng đơn sắc là ánh sáng không bị tán sắc mà chỉ bị lệch khi đi qua lăng kính.

b) Tổng hợp các ánh sáng đơn sắc thành ánh sáng trắng

Nhiều thí nghiệm đã chứng tỏ, có thể tạo được một chùm ánh sáng trắng bằng cách chồng chập các chùm sáng với đủ bảy màu chính đã nêu ở trên.

Dưới đây là một thí nghiệm đơn giản với đĩa tròn có tô màu, vẽ trên Hình 35.3.



Hình 35.3 Thí nghiệm về tổng hợp ánh sáng trắng.

Dán tờ giấy trắng lên một đĩa bằng kim loại (hoặc bằng bìa cứng) tròn. Chia hình tròn đó thành bảy hình quạt, sau đó lần lượt tô màu các hình quạt theo đúng trật tự bảy màu cầu vồng của quang phổ.

Cho đĩa quay nhanh dần quanh trục O của đĩa và nhìn vào mặt đĩa, ta thấy ban đầu còn nhìn rõ đủ bảy màu, nhưng khi đĩa quay đủ nhanh thì ta thấy mặt đĩa có màu trắng.

Điều đó được giải thích như sau : Do hiện tượng lưu ảnh của mắt, nên khi đĩa quay nhanh, cảm giác về một màu xác định, màu vàng chẳng hạn, mà mắt nhận được chưa kịp mất, thì mắt ta lại nhận tiếp được cảm giác về màu lục, màu lam, màu chàm, màu tím, màu đỏ, màu cam. Kết quả là cảm giác về cả bảy màu đó hoà lẫn với nhau và gây cho mắt cảm giác về màu tổng hợp, là màu trắng.

C2 Có thể dựa vào công thức đơn giản nào về lăng kính để thấy rõ góc lệch D của tia sáng truyền qua lăng kính phụ thuộc vào chiết suất n của lăng kính ?

Ta có thể thực hiện sự tổng hợp các ánh sáng từ đỏ đến tím thành ánh sáng trắng bằng cách bố trí thí nghiệm như ở Hình 35.2, trong đó bỏ màn chắn E_1 và dịch lăng kính P_2 lại gần sát lăng kính P_1 (các mặt bên của P_1 và P_2 song song với nhau) sao cho chùm sáng khúc xạ qua P_1 bị phân tách thành nhiều chùm sáng màu, tiếp tục bị khúc xạ qua P_2 theo chiều ngược lại và hợp thành chùm sáng trắng, cho ta vệt sáng trắng trên màn E_2.

c) Kết luận

Thí nghiệm đã chứng tỏ :

Ánh sáng trắng (ánh sáng Mặt Trời, ánh sáng hồ quang điện, ánh sáng đèn điện dây tóc,...) *là hỗn hợp của nhiều ánh sáng đơn sắc, có màu từ đỏ đến tím.* Ánh sáng trắng là một trường hợp của *ánh sáng phức tạp*, hay *ánh sáng đa sắc.*

3. Giải thích hiện tượng tán sắc ánh sáng

Hiện tượng tán sắc ánh sáng được giải thích như sau :

– Ánh sáng trắng (ánh sáng Mặt Trời, ánh sáng hồ quang điện, ánh sáng đèn điện dây tóc,...) là hỗn hợp của nhiều ánh sáng đơn sắc, có màu từ đỏ đến tím.

– Chiết suất của thuỷ tinh (và của mọi môi trường trong suốt khác) có giá trị khác nhau đối với ánh sáng đơn sắc có màu khác nhau, giá trị nhỏ nhất đối với ánh sáng đỏ và giá trị lớn nhất đối với ánh sáng tím.

Mặt khác, ta đã biết (xem SGK Vật lí 11 nâng cao) góc lệch của một tia sáng (đơn sắc) khúc xạ qua lăng kính phụ thuộc vào chiết suất của lăng kính : chiết suất của lăng kính càng lớn thì góc lệch càng lớn.

Vì vậy, các chùm sáng đơn sắc có màu khác nhau trong chùm ánh sáng trắng, sau khi khúc xạ

qua lăng kính, bị lệch các góc khác nhau, trở thành tách rời nhau. Kết quả là, chùm ánh sáng trắng ló ra khỏi lăng kính bị trải rộng ra thành nhiều chùm đơn sắc, tạo thành quang phổ của ánh sáng trắng mà ta đã quan sát thấy trên màn E_1.

Như vậy, *sự tán sắc ánh sáng là sự phân tách một chùm ánh sáng phức tạp thành các chùm ánh sáng đơn sắc khác nhau.*

4. Ứng dụng sự tán sắc ánh sáng

a) Hiện tượng tán sắc ánh sáng được ứng dụng trong máy quang phổ để phân tích một chùm ánh sáng đa sắc, do các vật sáng phát ra, thành các thành phần đơn sắc.

b) Nhiều hiện tượng quang học trong khí quyển, như cầu vồng chẳng hạn xảy ra do sự tán sắc ánh sáng. Đó là vì trước khi tới mắt ta, các tia sáng Mặt Trời đã bị khúc xạ và phản xạ trong các giọt nước.

CÂU HỎI

1. Nêu vắn tắt thí nghiệm về sự tán sắc ánh sáng.
2. Ánh sáng đơn sắc là gì ? Thế nào là ánh sáng trắng ?
3. Hãy thực hiện thí nghiệm đơn giản về tổng hợp ánh sáng trắng nêu trong bài học.
4. Giải thích sự tán sắc ánh sáng.

BÀI TẬP

1. Hiện tượng tán sắc xảy ra
   A. chỉ với lăng kính thuỷ tinh.
   B. chỉ với các lăng kính chất rắn hoặc chất lỏng.
   C. ở mặt phân cách hai môi trường chiết quang khác nhau.
   D. ở mặt phân cách một môi trường rắn hoặc lỏng, với chân không (hoặc không khí).

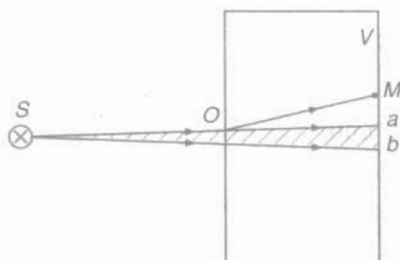
2. Một chùm ánh sáng đơn sắc, sau khi qua một lăng kính thuỷ tinh, thì
   A. không bị lệch và không đổi màu.
   B. chỉ đổi màu mà không bị lệch.
   C. chỉ bị lệch mà không đổi màu.
   D. vừa bị lệch, vừa bị đổi màu.

36 NHIỄU XẠ ÁNH SÁNG GIAO THOA ÁNH SÁNG

Khi nhìn ánh sáng Mặt Trời phản xạ trên màng nước xà phòng hay trên váng dầu, ta thấy có các vân màu sặc sỡ. Tại sao vậy ?

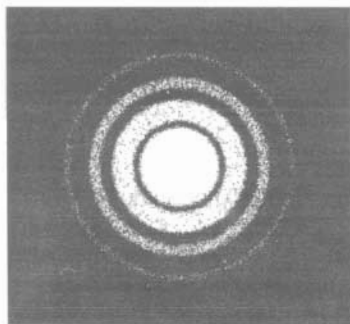
1. Nhiễu xạ ánh sáng

Dùng đèn S chiếu sáng một lỗ tròn nhỏ O, khoét ở cửa một căn phòng rất kín. Trên vách V của phòng, đối diện với lỗ O, có một vệt sáng ab tạo bởi các tia sáng từ S truyền thẳng qua lỗ O (Hình 36.1). Nhưng khi đứng ở điểm M trong phòng, hơi chếch với đường truyền thẳng của mọi tia sáng, và sau vài phút để mắt thích nghi dần với bóng tối, ta vẫn trông thấy rất rõ lỗ O. Điều này chứng tỏ đã có một số tia sáng từ O tới được mắt ta. Như vậy, có thể nói là ánh sáng từ đèn S, sau khi qua lỗ O, đã đi lệch khỏi phương truyền thẳng để tới mắt ta, tựa hồ như lỗ O cũng là một nguồn sáng.



Hình 36.1 Sự nhiễu xạ ánh sáng ở lỗ tròn.

Thực nghiệm đã chứng tỏ rằng, khi thu nhỏ lỗ tròn tới một mức nào đó, thì trên vách V không còn có vết sáng như trước mà xuất hiện một vết sáng tròn được bao quanh bởi các vành tròn sáng tối nằm xen kẽ nhau (Hình 36.2). Ngay cả trong vùng tối hình học (ngoài phạm vi ab), người ta cũng quan sát thấy vành sáng ; còn trong vùng sáng hình học (trong phạm vi ab) thì lại có thể có cả các vành tối (Hình 36.2).



Hình 36.2. Hình ảnh nhiễu xạ ánh sáng qua một lỗ tròn nhỏ.

Ta nói lỗ O đã nhiễu xạ ánh sáng. Đây là hiện tượng *nhiễu xạ ánh sáng*.

Nhiễu xạ ánh sáng là hiện tượng ánh sáng không tuân theo định luật truyền thẳng, quan sát được khi ánh sáng truyền qua lỗ nhỏ hoặc gần mép những vật trong suốt hoặc không trong suốt.

Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng chỉ có thể giải thích được nếu thừa nhận *ánh sáng có tính chất sóng*, lỗ nhỏ hoặc khe nhỏ được chiếu sáng có vai trò như một nguồn phát sóng ánh sáng. *Mỗi chùm sáng đơn sắc* (còn gọi là *chùm bức xạ đơn sắc*) *là một chùm sáng có bước sóng và tần số xác định.* Trong chân không, bước sóng của ánh sáng đơn

sắc được tính theo công thức $\lambda = \dfrac{c}{f}$, với c là tốc độ ánh sáng trong chân không (c = 300 000 km/s), f là tần số ánh sáng.

Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng tương tự hiện tượng nhiễu xạ của sóng trên mặt nước (xem Bài 16).

Trong môi trường có chiết suất n, bước sóng của ánh sáng đơn sắc là $\lambda' = \dfrac{v}{f} = \dfrac{c}{nf} = \dfrac{\lambda}{n}$. Vì không khí có chiết suất xấp xỉ bằng 1 nên có thể coi bước sóng của một ánh sáng đơn sắc trong không khí bằng bước sóng của nó trong chân không.

2. Giao thoa ánh sáng

Ta đã biết, giao thoa là hiện tượng đặc trưng của sóng (Bài 16). Để minh hoạ giả thuyết nêu trên về tính chất sóng của ánh sáng, ta phải chứng tỏ được bằng thực nghiệm rằng có thể tạo ra được sự giao thoa ánh sáng.

a) Thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm vẽ trên Hình 36.3.

b) Kết quả thí nghiệm

Dùng kính lọc sắc đỏ F, quan sát hình ảnh trên màn E đặt song song với M_2 và khá xa M_2, ta thấy một vùng sáng hẹp trong đó xuất hiện những vạch sáng màu đỏ và các vạch tối, xen kẽ nhau, song song với khe S (Hình 36.3b).



Y-ÂNG
(Thomas Young,
1773 - 1829,
nhà vật lí người Anh)

Năm 1801 nhà vật lí Y-âng đã thực hiện thí nghiệm về giao thoa ánh sáng, khẳng định giả thuyết về sóng ánh sáng.

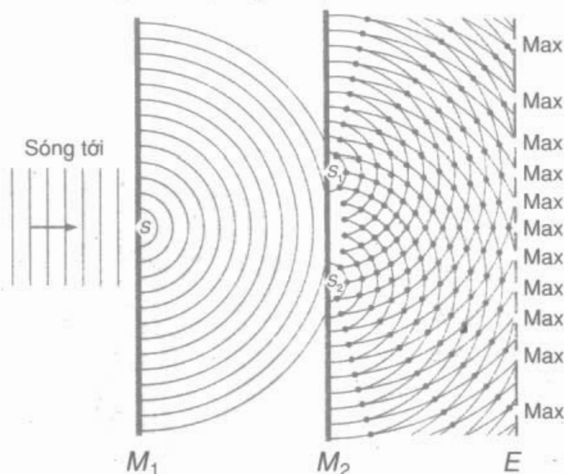


Hình 36.3 Sơ đồ thí nghiệm về giao thoa ánh sáng.

Đ là nguồn phát ánh sáng trắng (đèn sợi đốt chẳng hạn) ; *F* là kính màu (kính lọc sắc) dùng để tách ra chùm sáng đơn sắc chiếu vào khe hẹp *S* rạch trên màn chắn M_1 ; S_1, S_2 là hai khe hẹp, nằm rất gần nhau, song song với *S*, được rạch trên màn chắn M_2 ; *E* là màn quan sát. Ở Hình 36.3b, đường liền nét là vân sáng, đường đứt nét là vân tối.

C1 So sánh hình ảnh quan sát được trong thí nghiệm ở Hình 36.3 với hình ảnh giao thoa của sóng cơ mà em đã biết.

C2 Trong thí nghiệm ở Hình 36.3, độ lệch pha của hai nguồn S_1, S_2 bằng bao nhiêu ?



Hình 36.4 Sự giao thoa của hai sóng ánh sáng. Max là vân sáng.

C3 Nếu thay cho việc rạch hai khe S_1, S_2 trên màn E, người ta dùi hai lỗ nhỏ S_1, S_2 thì sẽ quan sát thấy gì ?

C4 Khi chắn một trong hai khe, S_1 hoặc S_2, ta quan sát thấy hiện tượng gì trên màn E ?

c) Giải thích kết quả thí nghiệm

Hiện tượng quan sát được trong thí nghiệm là hiện tượng giao thoa ánh sáng ; các vạch sáng, vạch tối gọi là *vân giao thoa*. Hiện tượng này cho thấy *ánh sáng có tính chất sóng* và được giải thích như sau :

– Ánh sáng từ đèn *Đ* qua kính lọc sắc *F* chiếu sáng khe *S* làm cho khe *S* trở thành nguồn phát sóng ánh sáng, truyền đến hai khe S_1, S_2 (được gọi là *khe Y-âng*). Hai khe S_1, S_2 được chiếu sáng bởi cùng một nguồn sáng *S*, nên trở thành *hai nguồn kết hợp* có cùng tần số. Hai sóng do S_1, S_2 phát ra là hai sóng kết hợp có cùng bước sóng và có độ lệch pha không đổi.

Tại vùng không gian hai sóng đó chồng lên nhau, gọi là *vùng giao thoa*, chúng giao thoa với nhau và tạo nên hình ảnh như đã quan sát thấy.

Như vậy, *hiện tượng giao thoa ánh sáng là một bằng chứng thực nghiệm quan trọng khẳng định ánh sáng có tính chất sóng.*

Điều kiện xảy ra hiện tượng giao thoa ánh sáng là ***hai chùm sáng giao nhau phải là hai chùm sáng kết hợp.***

CÂU HỎI

1. Thế nào là hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng ? Nêu ví dụ.
2. Trình bày vắn tắt thí nghiệm về sự giao thoa ánh sáng.
3. Giải thích kết quả thí nghiệm về sự giao thoa ánh sáng và rút ra kết luận về bản chất ánh sáng.

1. Để hai sóng cùng tần số giao thoa được với nhau, thì chúng phải có điều kiện nào sau đây ?

A. Cùng biên độ và cùng pha.

B. Cùng biên độ và ngược pha.

C. Cùng biên độ và độ lệch pha không đổi theo thời gian.

D. Độ lệch pha không đổi theo thời gian.

2. Hai sóng cùng tần số, được gọi là sóng kết hợp, nếu có

A. cùng biên độ và cùng pha.

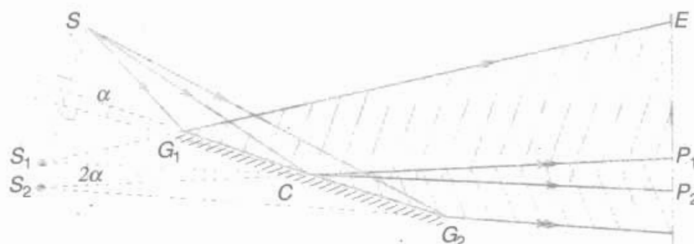
B. cùng biên độ và độ lệch pha không đổi theo thời gian.

C. độ lệch pha không đổi theo thời gian.

D. độ lệch pha và hiệu biên độ không đổi theo thời gian.

Em có biết ?

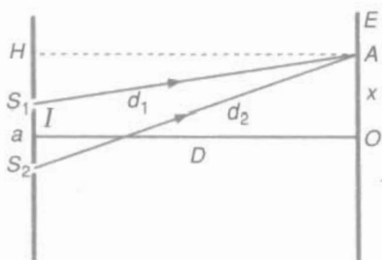
Để quan sát hiện tượng giao thoa ánh sáng, Fre-nen đã dùng hai gương phẳng G_1, G_2 làm với nhau một góc nhỏ α (Hình 36.5). Một nguồn điểm S phát ánh sáng đơn sắc. Hai chùm sáng phản xạ trên G_1, G_2 tựa như được phát ra từ hai ảnh S_1, S_2 của S qua G_1, G_2. Hai chùm sáng này có một phần chung (gạch chéo hai lần trên hình gọi là vùng giao thoa (hay trường giao thoa). Đặt một màn E, cho cắt cả hai chùm sáng, thì trong phần chung P_1, P_2 ta quan sát được một hệ vân giao thoa.



Hình 36.5. Gương Fre-nen.

S : nguồn sáng ; S_1, S_2 : ảnh của S, cho bởi hai gương phẳng G_1, G_2 ; α : góc giữa hai gương ; E là màn quan sát.

37 KHOẢNG VÂN
BƯỚC SÓNG VÀ MÀU SẮC ÁNH SÁNG



Hình 37.1 Xác định vị trí vân giao thoa.

Kẻ AH vuông góc với S_1S_2, ta có :

$$S_1H = x - \frac{a}{2} \ ; \ S_2H = x + \frac{a}{2}$$

và
$$d_1^2 = \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 + D^2$$

$$d_2^2 = \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 + D^2$$

Từ đó :

$$d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = 2ax \quad (37.1)$$

Với các điểm A ở gần O và $D >> a$, ta có thể coi $d_1 + d_2 \approx 2D$. Từ (37.1), rút ra :

$$d_2 - d_1 \approx \frac{ax}{D}$$

C1 Trong trường hợp giao thoa sóng cơ, muốn cho tại điểm A có vân giao thoa, cực đại hoặc cực tiểu thì hiệu đường đi $|d_2 - d_1|$ phải thoả mãn điều kiện gì ?

1. Xác định vị trí các vân giao thoa và khoảng vân

a) Vị trí của các vân giao thoa

Trong thí nghiệm giao thoa ánh sáng (Bài 36), ta xét một điểm A trên màn quan sát, được xác định bởi đoạn thẳng $OA = x$ (Hình 37.1).

Đặt $S_1S_2 = a$, $IO = D$ (khoảng cách từ hai nguồn S_1S_2 đến màn quan sát E), $d_1 = S_1A$ và $d_2 = S_2A$.

Để quan sát rõ vân giao thoa, a phải rất nhỏ so với D (thường a có trị số không quá vài milimét, còn D thường có trị số vài chục, thậm chí vài trăm xentimét).

Dễ dàng chứng minh, với các điểm A gần O nếu $D \gg a$, ta có :

$$d_2 - d_1 \approx \frac{ax}{D} \quad (37.2)$$

Tại điểm A có vân sáng khi $d_2 - d_1 = k\lambda$, với k là một số nguyên ($k = 0, \ \pm 1, \ \pm 2, ...$) và λ là bước sóng ánh sáng. Từ (37.2), ta tìm được vị trí các vân sáng trên màn E :

$$x = k\frac{\lambda D}{a} \quad (37.3)$$

với $k = 0, \ \pm 1, \ \pm 2, ...$ Tại điểm O ($x = 0$) ta có vân sáng ứng với $k = 0$, gọi là *vân sáng trung tâm* (còn gọi là *vân sáng chính giữa* hay *vân số 0*). Ở hai bên vân sáng trung tâm là các *vân sáng bậc 1*, ứng với $k = \pm 1$; rồi đến *vân sáng bậc 2*, ứng với $k = \pm 2$...

• Tại điểm A' có vân tối khi :

$$d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad (37.4)$$

• Ta thấy ở hai bên vân sáng là các vân tối, các vân sáng và các vân tối cách đều nhau.

Cần chú ý rằng, vị trí của vân sáng là vị trí của chỗ sáng nhất của vân (từ vị trí đó, độ sáng sẽ giảm dần cho đến bằng 0 tại vân tối).

b) Khoảng vân

Ở trên, ta biết rằng *xen giữa hai vân sáng cạnh nhau là một vân tối, các vân sáng cũng như các vân tối nằm cách đều nhau.* Khoảng cách giữa hai vân sáng (hoặc hai vân tối) cạnh nhau được gọi là *khoảng vân*, kí hiệu là i. Để xác định i ta tìm khoảng cách giữa các vân sáng bậc k và bậc $k + 1$:

$$i = (k+1)\frac{\lambda D}{a} - k\frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$$

$$i = \frac{\lambda D}{a} \qquad (37.5)$$

2. Đo bước sóng ánh sáng bằng phương pháp giao thoa

Theo công thức (37.5), nếu đo được chính xác D và đo được chính xác i và a (nhờ kính hiển vi và kính lúp), thì ta tính được bước sóng λ của ánh sáng đơn sắc. Đó là *nguyên tắc của phép đo bước sóng ánh sáng bằng phương pháp giao thoa.*

Các phép đo cho ta trị số λ của bước sóng ánh sáng trong không khí. Đó cũng là trị số của bước sóng ánh sáng trong chân không (với sai lệch

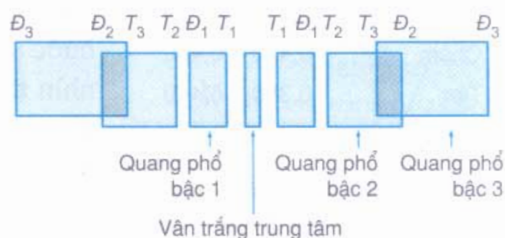
Vị trí các vân tối có thể xác định được bằng công thức : $x = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{a}$

với $k = 0, \pm 1, \pm 2, ...$

Chú ý rằng, đối với các vân tối không có khái niệm bậc giao thoa.

C2 Tính khoảng vân và vị trí các vân sáng bậc 1, bậc 2 đối với ánh sáng tím và đối với ánh sáng đỏ. Nêu nhận xét.

C3 Trong thí nghiệm giao thoa với khe Y-âng, khi bỏ kính lọc sắc (tức là dùng ánh sáng trắng), ta thấy có một vạch sáng trắng ở chính giữa, hai bên có những dải màu như cầu vồng, tím ở trong, đỏ ở ngoài (xem Hình 37.2). Hãy giải thích.



Hình 37.2 *Hình ảnh giao thoa thu được với ánh sáng trắng.*

không đáng kể). Từ đó suy ra bước sóng λ' của ánh sáng trong môi trường có chiết suất n (Bài 36) :

$$\lambda' = \frac{\lambda}{n}$$

3. Bước sóng và màu sắc ánh sáng

Kết quả đo bước sóng của các ánh sáng đơn sắc khác nhau cho thấy rằng :

– Mỗi ánh sáng đơn sắc có một bước sóng (tần số) xác định.

– Mọi ánh sáng đơn sắc mà ta nhìn thấy đều có bước sóng trong chân không (hoặc không khí) trong khoảng từ chừng 0,38 μm (ánh sáng tím) đến 0,76 μm (ánh sáng đỏ).

Trong thực tế, mắt ta không phân biệt được màu của các ánh sáng có bước sóng rất gần nhau, nên ta chỉ phân biệt được vài trăm màu. Dựa vào màu của các bức xạ, ta chỉ có thể ước lượng phỏng chừng bước sóng của chúng. Vì vậy, trong miền ánh sáng nhìn thấy (gọi là *quang phổ khả kiến*), người ta đã phân định phỏng chừng khoảng bước sóng của bảy màu chính trên quang phổ Mặt Trời (bảy màu cầu vồng) như ở Bảng 37.1.

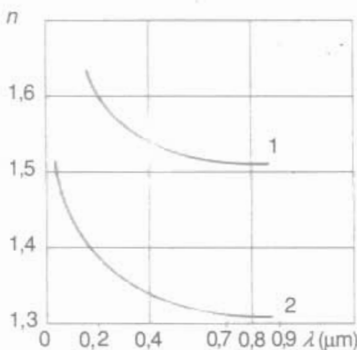
Bảng 37.1

Màu ánh sáng	Bước sóng λ (μm) (trong chân không)
Đỏ	0,640 ÷ 0,760
Cam	0,590 ÷ 0,650
Vàng	0,570 ÷ 0,600
Lục	0,500 ÷ 0,575
Lam	0,450 ÷ 0,510
Chàm	0,430 ÷ 0,460
Tím	0,380 ÷ 0,440

Chú ý rằng, tần số của một ánh sáng đơn sắc có giá trị như nhau trong mọi môi trường, nhưng bước sóng thì thay đổi theo môi trường.

4. Chiết suất của môi trường và bước sóng ánh sáng

Chiết suất của môi trường trong suốt (chẳng hạn thuỷ tinh, thạch anh, nước) có giá trị phụ thuộc vào tần số và bước sóng của ánh sáng. Hơn nữa, thực nghiệm đã chứng tỏ rằng, đối với một môi trường trong suốt nhất định, chiết suất ứng với ánh sáng có bước sóng càng dài thì có giá trị càng nhỏ hơn so với chiết suất ứng với ánh sáng có bước sóng ngắn. Chẳng hạn, đối với nước, chiết suất ứng với tia đỏ (λ = 0,759 μm) là 1,329, với tia tím (λ = 0,405 μm) là 1,343.



Hình 37.3. Đường cong tán sắc của thuỷ tinh (1) và nước (2).

Căn cứ vào kết quả thí nghiệm, người ta đã vẽ được những đường cong, gọi là *đường cong tán sắc*, biểu diễn sự phụ thuộc của chiết suất của các môi trường trong suốt vào bước sóng ánh sáng trong chân không λ. Các đường cong tán sắc có dạng gần đúng với hypebol bậc hai (Hình 37.3) ứng với biểu thức của chiết suất n phụ thuộc bước sóng λ có dạng :

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} \qquad (37.6)$$

với A và B là hằng số phụ thuộc vào bản chất của môi trường. Từ đồ thị ta thấy rằng, đối với thuỷ tinh và nước cũng như phần lớn các chất khác, chiết suất giảm khi bước sóng tăng.

Biết đường cong tán sắc, thì từ phép đo chiết suất, ta có thể suy ra được bước sóng ánh sáng.

CÂU HỎI

1. Thiết lập công thức tính khoảng vân.
2. Trình bày phương pháp giao thoa để đo bước sóng ánh sáng.
3. Nêu mối quan hệ giữa bước sóng ánh sáng và màu sắc ánh sáng.

BÀI TẬP

1. Để hai sóng sáng kết hợp, có bước sóng λ, tăng cường lẫn nhau khi giao thoa với nhau, thì hiệu đường đi của chúng phải

   A. bằng 0.

   B. bằng $k\lambda$ (với $k = 0, \pm 1, \pm 2,...$).

   C. bằng $\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda$ (với $k = 0, \pm 1, \pm 2,...$).

   D. bằng $\left(k\lambda + \frac{\lambda}{4}\right)$ (với $k = 0, 1, 2,...$).

2. Khoảng cách i giữa hai vân sáng, hoặc hai vân tối liên tiếp trong hệ vân giao thoa, ở thí nghiệm khe Y-âng, được tính theo công thức nào sau đây ?

   A. $i = \frac{\lambda a}{D}$. B. $i = \frac{\lambda D}{a}$. C. $i = \frac{aD}{\lambda}$. D. $i = \frac{\lambda}{aD}$.

3. Sự phụ thuộc của chiết suất vào bước sóng

   A. xảy ra với mọi chất rắn, lỏng, hoặc khí.

   B. chỉ xảy ra với chất rắn, và chất lỏng.

   C. chỉ xảy ra với chất rắn.

   D. là hiện tượng đặc trưng của thuỷ tinh.

4. Trong thí nghiệm về giao thoa ánh sáng, trên màn ảnh người ta đo được khoảng cách từ vân sáng thứ tư đến vân sáng thứ mười ở cùng một bên của vân sáng trung tâm là 2,4 mm. Cho biết khoảng cách giữa hai khe là 1 mm, và màn ảnh cách hai khe 1 m.

   a) Tính bước sóng ánh sáng. Ánh sáng đó có màu gì ?

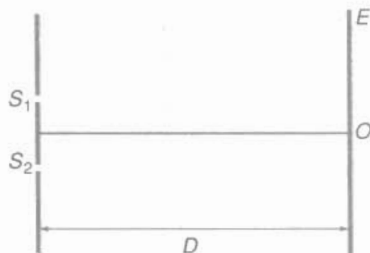
   b) Nếu dùng ánh sáng đỏ có bước sóng 0,70 μm thì khoảng cách từ vân sáng thứ 4 đến vân sáng thứ 10 ở cùng một bên vân sáng trung tâm là bao nhiêu ?

5. Hai khe trong thí nghiệm Y-âng cách nhau 3 mm được chiếu sáng bằng ánh sáng đơn sắc có bước sóng 0,60 μm. Các vân giao thoa được hứng trên màn cách hai khe 2 m. Hãy xác định tính chất của vân giao thoa tại điểm M cách vân sáng trung tâm 1,2 mm và tại điểm N cách vân sáng trung tâm 1,8 mm.

38 BÀI TẬP VỀ GIAO THOA ÁNH SÁNG

Bài tập 1

Trong thí nghiệm về giao thoa ánh sáng, các khe S_1 và S_2 được chiếu sáng bởi ánh sáng đơn sắc. Khoảng cách giữa hai khe $a = 1$ mm. Khoảng cách giữa mặt phẳng chứa hai khe và màn quan sát E là $D = 3$ m (Hình 38.1).



Hình 38.1

a) Biết bước sóng của chùm sáng đơn sắc là $\lambda = 0{,}5$ µm. Hãy tính khoảng vân.

b) Hãy xác định vị trí vân sáng bậc 2 trên màn quan sát.

Bài giải

a) Ta có khoảng vân : $$i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{0{,}5.10^{-6}.3}{10^{-3}} = 1{,}5.10^{-3}\text{m} = 1{,}5 \text{ mm}$$

b) Vị trí vân sáng bậc 2 : $$x = k\frac{\lambda D}{a} = 2i = 3 \text{ mm}$$

Bài tập 2

Hai lăng kính A_1, A_2 có góc chiết quang A đều bằng 20', có đáy B chung, được làm bằng thuỷ tinh, chiết suất $n = 1{,}5$. Một nguồn sáng điểm S đặt trong mặt phẳng của đáy B cách hai lăng kính một khoảng $d = 50$ cm phát ánh sáng đơn sắc, bước sóng $\lambda = 600$ nm. Một màn E cách hai lăng kính một khoảng $d' = 70$ cm.

a) Chứng minh rằng, trên màn E ta quan sát được một hệ vân giao thoa.

b) Tính khoảng cách i giữa hai vân sáng liên tiếp và số vân có thể quan sát được. Cho $1' \approx 3.10^{-4}$ rad.

Bài giải

a) Các tia sáng đi từ S, sau khi đi qua lăng kính A_1 bị lệch một góc Δ :

$$\Delta = (n-1)A$$

về phía đáy tựa như được phát đi từ ảnh ảo S_1 của S (Hình 38.2). Cũng thế, các tia sáng qua lăng kính A_2 cũng tựa như được phát đi từ ảnh ảo S_2 của S. Vì góc chiết quang nhỏ, nên xem gần đúng như : $S_1SS_2 \perp SBIO$. Hai nguồn điểm S_1, S_2 là hai ảnh ảo của cùng một nguồn S nên luôn luôn là hai nguồn kết hợp. Hai chùm sáng khúc xạ đỉnh S_1, S_2 có phần chung là P_1IP_2 (xem Hình 38.2) ; mỗi điểm trên màn E ở trong khoảng P_1P_2 nhận được hai dao động sáng kết hợp. Hai dao động (sóng) này giao thoa với nhau, làm xuất hiện một hệ vân giao thoa trong khoảng P_1P_2 (P_1P_2 là bề rộng của vùng giao thoa).

b) Từ Hình 38.2, ta tìm được khoảng cách a giữa hai nguồn S_1S_2 :

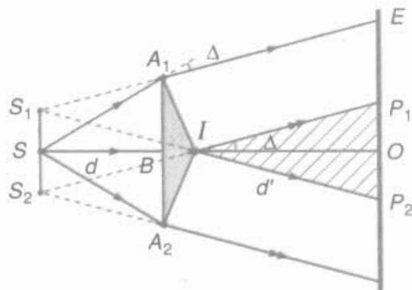
$$a = S_1S_2 = 2.IS.\tan\Delta \approx 2d(n-1)A$$

Thay số, ta được :

$$a = 2.50.(1,5-1).20.3.10^{-4} = 0,3 \text{ cm} = 3 \text{ mm}.$$

Khoảng vân :

$$i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda(d+d')}{a} \approx 0,24 \text{ mm}$$



Hình 38.2

Số vân sáng nhiều nhất có thể quan sát được trên màn E :

$$N = 1 + 2.\frac{P_1P_2}{2i}$$

(trong đó chỉ lấy phần nguyên của thương số $\frac{P_1P_2}{2i}$).

Từ Hình 38.2, xét hai tam giác đồng dạng IS_1S_2 và IP_1P_2, ta tìm được bề rộng P_1P_2 của vùng giao thoa :

$$\frac{P_1P_2}{S_1S_2} = \frac{d'}{d} \Rightarrow P_1P_2 = S_1S_2\frac{d'}{d} = a\frac{d'}{d} = 4,2 \text{ mm}$$

Do đó, ta được :

$$N = 1 + 2.\frac{P_1P_2}{2i} \approx 17 \text{ vân}$$

Chú ý : Khi tính thương số $\frac{P_1P_2}{2i}$, ta chỉ giữ lại phần nguyên.

(Thực ra, do hiện tượng nhiễu xạ nên các vân ở gần P_1P_2 hầu như không quan sát được, và số vân thực sự quan sát được thường nhỏ hơn N chừng vài vân).

Bài tập 3

Một thấu kính có tiêu cự $f = 20$ cm, đường kính vành $L = 3$ cm được cưa làm đôi theo một đường kính. Sau đó hai nửa thấu kính được tách cho xa nhau một khoảng $e = 2$ mm (nhờ chèn vào giữa một sợi dây hoặc thỏi kim loại). Một khe sáng hẹp song song với đường chia hai nửa thấu kính, đặt cách đường ấy một khoảng $d = 60$ cm. Khe sáng F phát ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,546$ μm. Vân giao thoa được quan sát trên một màn E, đặt cách hai nửa thấu kính một khoảng D (Hình 38.3).

a) Muốn quan sát được các vân giao thoa trên màn E, thì D phải có giá trị nhỏ nhất là bao nhiêu ?

b) Cho $D = 1,8$ m, tính khoảng vân và số vân sáng quan sát được trên màn.

Bài giải

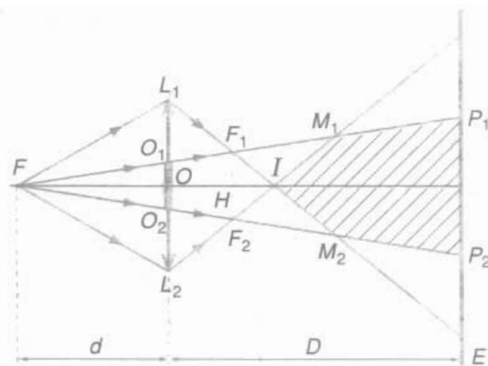
a) Vẽ hai chùm sáng phát ra từ F đi tới hai nửa thấu kính, ta được hai ảnh thật F_1, F_2 của F tạo bởi hai nửa thấu kính (Hình 38.3).

F_1, F_2 là hai nguồn kết hợp, cho hai chùm sáng giao thoa với nhau tại vùng giao nhau. Trên Hình 38.3, vùng giao thoa (được gạch chéo trên hình vẽ) được giới hạn bởi các tia sáng : $L_1F_1M_2$; $O_1F_1M_1$; $L_2F_2M_1$ và $O_2F_2M_2$.

Khoảng cách d' từ F_1F_2 đến O_1O_2 là :

$$d' = \frac{df}{d-f} = \frac{60.20}{60-20} = 30 \text{ cm}$$

Hai tam giác đồng dạng FO_1O_2 và FF_1F_2 cho ta :



Hình 38.3

$$\frac{F_1F_2}{O_1O_2} = \frac{FH}{FO} \Rightarrow \frac{a}{e} = \frac{d+d'}{d}$$

Do đó : $$F_1F_2 = a = e\frac{d+d'}{d} = 3 \text{ mm}$$

Hình 38.3 cho thấy rằng, để quan sát được các vân giao thoa, ta phải đặt màn E ở xa thấu kính hơn điểm I (giao điểm của hai tia sáng L_1F_1 và L_2F_2), nghĩa là phải có : $D > OI$.

Để tính OI, xét hai tam giác đồng dạng IF_1F_2 và IL_1L_2 :

$$\frac{F_1F_2}{L_1L_2} = \frac{IH}{IO} \Rightarrow \frac{L_1L_2 - F_1F_2}{L_1L_2} = \frac{IO - IH}{IO}$$

Do đó : $$IO = d'\frac{(L+e)}{L+e-a} \approx 33{,}1 \text{ cm.}$$

Vậy giá trị nhỏ nhất của D phải là 33,1 cm.

b) Khoảng vân :

$$i = \frac{\lambda(D-d')}{a} = \frac{0{,}546.10^{-6}.(1{,}8-0{,}3)}{3.10^{-3}} = 0{,}273.10^{-3} \text{ m} \approx 0{,}27 \text{ mm}$$

Bề rộng vùng giao thoa : $$\frac{P_1P_2}{O_1O_2} = \frac{D+d}{d}$$

Suy ra : $$P_1P_2 = e.\frac{D+d}{d} = 8 \text{ mm.}$$

Số vân sáng nhiều nhất có thể quan sát được trên màn : $N = 1 + 2.\frac{P_1P_2}{2i} \approx 29$

Số vân thực sự quan sát được nhỏ hơn 29 vân.

39 MÁY QUANG PHỔ
CÁC LOẠI QUANG PHỔ

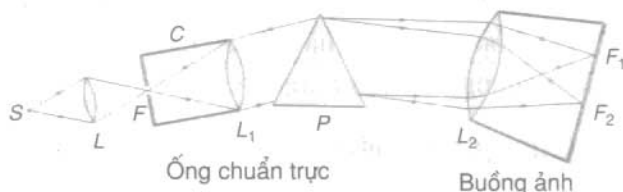
Tại sao người ta lại biết trên Mặt Trời có heli và các nguyên tố khác ?

1. Máy quang phổ lăng kính

Máy quang phổ là dụng cụ dùng để phân tích chùm sáng phức tạp thành những thành phần đơn sắc khác nhau. Nói khác đi, nó dùng để nhận biết các thành phần cấu tạo của một chùm sáng phức tạp do một nguồn sáng phát ra.

a) Cấu tạo

Máy quang phổ lăng kính có ba bộ phận chính :



Hình 39.1 Sơ đồ cấu tạo máy quang phổ lăng kính.

• *Ống chuẩn trực* là bộ phận có dạng một cái ống tạo ra chùm tia sáng song song. Nó có một khe hẹp F nằm ở tiêu diện của một thấu kính hội tụ L_1 (Hình 39.1). Chùm ánh sáng phát ra từ nguồn S mà ta cần nghiên cứu được rọi vào khe F. Chùm tia sáng ló ra khỏi thấu kính L_1 là một chùm song song.

• *Hệ tán sắc*, gồm một hoặc vài lăng kính P, có tác dụng phân tích chùm tia song song từ L_1 chiếu tới thành nhiều chùm tia đơn sắc song song.

Các lăng kính thường đặt cùng chiều, ở độ lệch cực tiểu, nghĩa là sao cho góc lệch của các chùm sáng khúc xạ qua P có giá trị nhỏ nhất.

• *Buồng tối* hay *buồng ảnh* là một hộp kín trong đó có một thấu kính hội tụ L_2 (đặt chắn chùm tia sáng đã bị tán sắc sau khi qua lăng kính P) và một tấm kính ảnh (để chụp ảnh quang phổ), hoặc một tấm kính mờ (để quan sát quang phổ), đặt tại tiêu diện của L_2.

Trong nhiều máy quang phổ hiện đại, ở bộ phận tán sắc, người ta dùng cách tử nhiễu xạ thay cho lăng kính.

Cách tử nhiễu xạ là một hệ thống nhiều khe rất hẹp giống nhau, song song cách đều và nằm trong cùng một mặt phẳng. Khi chiếu một chùm tia sáng đơn sắc song song vào mặt phẳng cách tử thì trên màn quan sát, ta sẽ thấy một dãy vạch sáng song song (vạch quang phổ) cách nhau bằng những khoảng tối rộng. Một chùm ánh sáng đa sắc rọi vào cách tử sẽ cho ta các vạch quang phổ tương ứng với các thành phần của ánh sáng tới.

C1 Cơ thể ta có phát ra quang phổ liên tục không ?

Thí nghiệm cho thấy, một cục sắt bắt đầu phát bức xạ nhìn thấy khi ta nung nóng nó đến 500°C. Nhưng lúc đó quang phổ của nó chỉ có màu đỏ, tối. Tiếp tục đốt nóng tới 800°C, thì quang phổ của nó lan sang màu cam, còn màu đỏ được sáng thêm. Nung nóng đến 1 000°C, quang phổ của nó có thêm màu vàng. Nhiệt độ của vật phát sáng (cục sắt) càng cao, thì miền quang phổ càng lan rộng sang màu xanh (lục), lam, chàm... tức là sang miền bước sóng ngắn của quang phổ, và càng sáng thêm. Nung sắt nóng đến 1 200°C, quang phổ lan đến tận màu tím. Nhưng miền các vùng màu lam, chàm, tím còn rất tối, nên màu của cục sắt vẫn hơi đỏ. Phải nung nóng tới trên 1 500°C, cục sắt mới gần như sáng trắng. Trong bóng đèn điện, dây tóc có nhiệt độ trên 2 500 K, phát ánh sáng trắng và quang phổ của nó có chứa đủ các màu như ta đã biết.

b) Nguyên tắc hoạt động

Nguyên tắc hoạt động của máy quang phổ lăng kính dựa trên hiện tượng tán sắc ánh sáng.

Sau khi ló ra khỏi ống chuẩn trực, chùm ánh sáng phát ra từ nguồn S mà ta cần nghiên cứu sẽ trở thành một chùm song song. Chùm này qua lăng kính sẽ bị phân tách thành nhiều chùm đơn sắc song song, lệch theo các phương khác nhau. Mỗi chùm sáng đơn sắc ấy được thấu kính L_2 của buồng ảnh làm hội tụ thành một vạch trên tiêu diện của L_2 và cho ta một ảnh thật của khe F, đó là một vạch màu. Các vạch màu này được chụp trên kính ảnh hoặc hiện lên tấm kính mờ. Mỗi vạch màu ứng với một bước sóng xác định, gọi là *vạch quang phổ*, là một thành phần ánh sáng đơn sắc do nguồn S phát ra.

Tập hợp các vạch màu (hoặc dải màu) đó tạo thành quang phổ của nguồn S.

2. Quang phổ liên tục

Quang phổ gồm nhiều dải màu từ đỏ đến tím, nối liền nhau một cách liên tục, được gọi là quang phổ liên tục.

Ví dụ, quang phổ của ánh sáng trắng do Mặt Trời phát ra và do bóng đèn có dây tóc nóng sáng phát ra... là quang phổ liên tục.

a) Nguồn phát

Thí nghiệm cho thấy : Các chất rắn, chất lỏng và những chất khí ở áp suất lớn khi bị nung nóng, phát ra quang phổ liên tục.

b) Tính chất

Một đặc điểm quan trọng của quang phổ liên tục là nó không phụ thuộc bản chất của vật phát sáng, mà chỉ phụ thuộc nhiệt độ của vật.

Ở mọi nhiệt độ, vật đều bức xạ. Khi nhiệt độ tăng dần thì cường độ bức xạ càng mạnh và miền

quang phổ lan dần từ bức xạ có bước sóng dài sang bức xạ có bước sóng ngắn.

Sự phân bố độ sáng của các vùng màu khác nhau trong quang phổ liên tục phụ thuộc vào nhiệt độ của vật. Nhiệt độ của vật phát sáng càng cao, thì vùng màu sáng nhất có bước sóng càng ngắn.

C2 Điều chỉnh cho nhiệt độ ngọn lửa bếp ga tăng dần và nhìn vào ngọn lửa, em thấy màu của nó thay đổi thế nào ?

C3 Cho một hạt muối rơi vào ngọn lửa bếp ga, em sẽ thấy gì ?

3. Quang phổ vạch phát xạ

Quang phổ gồm các vạch màu riêng lẻ, ngăn cách nhau bằng những khoảng tối, được gọi là quang phổ vạch phát xạ.

a) Nguồn phát

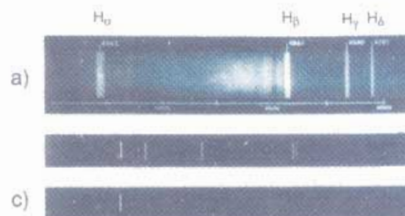
Quang phổ vạch phát xạ do các chất khí, hay hơi ở áp suất thấp phát ra khi bị kích thích (khi nóng sáng, hoặc khi có dòng điện phóng qua).

b) Tính chất

Thực nghiệm cho thấy, *mỗi nguyên tố hoá học khi bị kích thích, phát ra các bức xạ có bước sóng xác định và cho một quang phổ vạch phát xạ riêng, đặc trưng cho nguyên tố ấy* (xem Hình 39.2).

Các nguyên tố khác nhau, phát ra các quang phổ vạch khác hẳn nhau về số lượng vạch, về màu sắc, bước sóng (tức là về vị trí) của các vạch và về cường độ sáng của các vạch đó. Chẳng hạn, quang phổ của hơi natri có hai vạch vàng rất sáng nằm cạnh nhau (vạch kép) ứng với các bước sóng 0,5890 μm và 0,5896 μm (Hình 39.2c).

Người ta ứng dụng sự phụ thuộc của quang phổ liên tục của vật phát sáng vào nhiệt độ để đo nhiệt độ của các vật nóng sáng ở nhiệt độ cao như dây tóc bóng đèn, lò cao,... và cả nhiệt độ các ngôi sao ở rất xa. Muốn đo nhiệt độ của một vật bị nung sáng, người ta so sánh độ sáng của vật đó với độ sáng của một dây tóc bóng đèn ở một vùng bước sóng nào đó. Nhiệt độ của dây tóc bóng đèn ứng với những độ sáng khác nhau đã hoàn toàn được biết trước.



Hình 39.2 Quang phổ vạch phát xạ của một số nguyên tố.

a) Hiđrô ; b) Thuỷ ngân ; c) Natri.

Quang phổ của hiđrô có bốn vạch đặc trưng là : vạch đỏ H_α ($\lambda = 0,6563$ μm), vạch lam H_β ($\lambda = 0,4861$ μm), vạch chàm H_γ ($\lambda = 0,4340$ μm) và vạch tím H_δ ($\lambda = 0,4120$ μm).
Cần lưu ý rằng, chất khí ở áp suất thấp, khi được kích thích ở nhiệt độ thấp hơn so với khi phát quang phổ vạch, sẽ phát xạ *quang phổ đám*, gồm các dải màu ngắn, ngăn cách nhau bằng các khoảng tối. Các dải màu này gọi là đám, thực ra gồm nhiều vạch riêng lẻ rất sít nhau.

4. Quang phổ vạch hấp thụ

a) Quang phổ hấp thụ của chất khí hoặc hơi

Chiếu một chùm sáng trắng do một đèn điện có dây tóc nóng sáng phát ra vào khe của một máy quang phổ, ta thu được một quang phổ liên tục



Hình 39.3 Ảnh chụp quang phổ hấp thụ của một số nguyên tố.
a) Heli ; b) Natri ; c) Chất diệp lục.

trên tấm kính của buồng ảnh. Nếu trên đường đi của chùm sáng đó ta đặt một ống thuỷ tinh đựng hơi natri thì thấy trong quang phổ liên tục nói trên xuất hiện một vạch tối (thực ra là hai vạch tối nằm sát cạnh nhau) ở đúng vị trí của vạch vàng trong quang phổ phát xạ của natri. *Đó là quang phổ hấp thụ của natri* (Hình 39.3b).

Quang phổ liên tục thiếu một số vạch màu do bị chất khí (hay hơi kim loại) hấp thụ được gọi là quang phổ vạch hấp thụ của khí (hay hơi) đó.

Cần lưu ý rằng, *điều kiện để thu được quang phổ hấp thụ là nhiệt độ của đám khí hay hơi hấp thụ phải thấp hơn nhiệt độ của nguồn sáng phát ra quang phổ liên tục.*

C4 Hãy so sánh quang phổ vạch phát xạ và quang phổ vạch hấp thụ của natri ở Hình 39.2 và 39.3.

b) Sự đảo vạch quang phổ

Khảo sát quang phổ vạch hấp thụ của nhiều chất khác nhau, người ta đều thấy chúng cũng là quang phổ vạch, nhưng vạch phổ sáng khi phát xạ đã trở thành vạch tối trong quang phổ hấp thụ. Hiện tượng đó được gọi là *sự đảo vạch quang phổ*. Như vậy, *mỗi nguyên tố hoá học chỉ hấp thụ những bức xạ nào mà nó có khả năng phát xạ, và ngược lại, nó chỉ phát bức xạ nào mà nó có khả năng hấp thụ*.

Trong thí nghiệm trên, nếu tắt đèn điện dây tóc và nung nóng hơi natri trong ống hoặc phóng điện qua ống, thì ta lại quan sát thấy một vạch màu vàng tại đúng vị trí của vạch đen. Điều đó có nghĩa là : hơi kim loại natri phát được bức xạ màu vàng thì cũng hấp thụ được bức xạ ấy và chỉ hấp thụ được bức xạ ấy.

Trong thí nghiệm về quang phổ hấp thụ của natri, nếu thay ống thuỷ tinh đựng hơi natri bằng cốc thuỷ tinh đựng dung dịch đồng sunfat loãng thì trên quang phổ liên tục ta thấy có hai *đám tối* ở vùng màu đỏ, cam và vùng chàm tím. Đó là *quang phổ đám hấp thụ* của dung dịch đồng sunfat. Các chất lỏng và chất rắn đều cho ta quang phổ đám hấp thụ. Trên Hình 39.3c có chụp quang phổ đám hấp thụ của chất diệp lục.

c) Như vậy *quang phổ vạch hấp thụ* của mỗi nguyên tố có tính chất đặc trưng cho nguyên tố đó. Vì vậy, cũng có thể căn cứ vào quang phổ vạch hấp thụ để nhận biết sự có mặt của nguyên tố đó trong các hỗn hợp hay hợp chất.

5. Phân tích quang phổ

Phân tích quang phổ là phương pháp vật lí dùng để xác định thành phần hoá học của một chất (hay hợp chất), dựa vào việc nghiên cứu

quang phổ của ánh sáng do chất ấy phát ra hoặc hấp thụ.

Nhờ phân tích quang phổ, người ta biết được sự có mặt của các nguyên tố khác nhau trong mẫu vật nghiên cứu. Phân tích quang phổ định tính có ưu điểm là : cho kết quả nhanh, và có thể cùng một lúc xác định được sự có mặt của nhiều nguyên tố. Ngoài ra, người ta còn phân tích định lượng để biết được cả hàm lượng của các thành phần (nguyên tố) có trong mẫu bằng cách đo cường độ các vạch quang phổ phát xạ, hoặc hấp thụ, của nguyên tố ấy. Phép phân tích quang phổ định lượng *rất nhạy*, cho phép ta phát hiện được một hàm lượng rất nhỏ của chất trong mẫu.

Một *ưu điểm của phép phân tích quang phổ* là nó có khả năng phân tích từ xa, cho ta biết được thành phần hoá học, nhiệt độ và cả tốc độ chuyển động... của Mặt Trời và các ngôi sao.

Nhờ việc phân tích quang phổ của ánh sáng Mặt Trời, mà người ta đã phát hiện ra heli ở khí quyển Mặt Trời, trước khi tìm thấy nó ở Trái Đất. Cũng bằng cách đó, người ta còn thấy sự có mặt của nhiều nguyên tố trong khí quyển Mặt Trời như hiđrô, natri, canxi, sắt,...

CÂU HỎI

1. Máy quang phổ là gì ? Trình bày các bộ phận cấu tạo chính của một máy quang phổ lăng kính.
2. Quang phổ liên tục là gì ? Nó do nguồn phát nào phát ra, trong điều kiện nào ? Quang phổ liên tục có tính chất quan trọng gì ? Tính chất đó có ứng dụng gì ?
3. Quang phổ vạch phát xạ do nguồn nào phát ra và phát ra trong điều kiện nào ? Nêu những đặc điểm của quang phổ vạch phát xạ.
4. Quang phổ vạch hấp thụ có thể thu được trong điều kiện nào ? Nêu đặc điểm của quang phổ vạch hấp thụ.
5. Nêu những tiện lợi của phép phân tích quang phổ.

BÀI TẬP

1. Khi tăng dần nhiệt độ của một dây tóc đèn điện, thì quang phổ của ánh sáng do nó phát ra thay đổi như thế nào sau đây ?

   A. Sáng dần lên, nhưng vẫn có đủ bảy màu cầu vồng.

   B. Ban đầu chỉ có màu đỏ, sau lần lượt có thêm màu cam, màu vàng, cuối cùng, khi nhiệt độ đủ cao, mới có đủ bảy màu, chứ không sáng thêm.

C. Vừa sáng dần thêm, vừa trải rộng dần, từ màu đỏ, qua các màu cam, vàng... cuối cùng, khi nhiệt độ đủ cao, mới có đủ bảy màu.

D. Hoàn toàn không thay đổi gì.

2. Quang phổ vạch được phát ra khi

A. nung nóng một chất rắn, lỏng hoặc khí.

B. nung nóng một chất lỏng, hoặc chất khí.

C. nung nóng một chất khí, ở điều kiện tiêu chuẩn.

D. nung nóng một chất khí ở áp suất rất thấp.

3. Quang phổ vạch phát xạ của một chất thì đặc trưng cho

A. chính chất ấy.

B. thành phần hoá học của chất ấy.

C. thành phần nguyên tố (tức là tỉ lệ phần trăm các nguyên tố hoá học) của chất ấy.

D. cấu tạo phân tử của chất ấy.

4. Sự đảo (hay đảo sắc) vạch quang phổ là

A. sự đảo ngược, từ vị trí ngược chiều khe máy thành cùng chiều.

B. sự chuyển từ một vạch sáng trên nền tối thành vạch tối trên nền sáng, do bị hấp thụ.

C. sự đảo ngược trật tự các vạch trên quang phổ

D. sự thay đổi màu sắc các vạch quang phổ.

40 TIA HỒNG NGOẠI TIA TỬ NGOẠI

Sau những ngày nghỉ mát ở bờ biển, tắm biển và phơi nắng, da ta bị rám nắng, có màu bánh mật. Đó là do tác dụng của tia tử ngoại, bức xạ không nhìn thấy trong ánh sáng Mặt Trời.

1. Các bức xạ không nhìn thấy

Thí nghiệm đã chứng tỏ rằng, ở ngoài miền ánh sáng nhìn thấy (có bước sóng từ 0,38 μm đến 0,76 μm) còn có những loại ánh sáng (bức xạ) nào đó, không nhìn thấy được, nhưng cũng có tác dụng nhiệt giống như các bức xạ nhìn thấy. Dưới đây ta lần lượt khảo sát một số *bức xạ không nhìn thấy*.

2. Tia hồng ngoại

Bức xạ không nhìn thấy có bước sóng dài hơn 0,76 μm đến khoảng vài milimét (lớn hơn bước sóng của ánh sáng đỏ và nhỏ hơn bước sóng của sóng vô tuyến điện) **được gọi là tia hồng ngoại** (hay **bức xạ hồng ngoại**).

a) Nguồn phát tia hồng ngoại

Mọi vật, dù ở nhiệt độ thấp, đều phát ra tia hồng ngoại. Cơ thể người (thường có nhiệt độ $37^{o}C$), cũng phát ra các tia hồng ngoại, trong đó mạnh nhất là các bức xạ có bước sóng ở vùng 9 μm. Ở nhiệt độ cao, ngoài tia hồng ngoại, vật còn phát ra các bức xạ nhìn thấy.

Nguồn phát tia hồng ngoại thông dụng là lò than, lò điện, đèn điện dây tóc,...

b) Tính chất

– Tính chất nổi bật của tia hồng ngoại là *tác dụng nhiệt* : vật hấp thụ tia hồng ngoại sẽ nóng lên.

– Tia hồng ngoại có khả năng gây ra một số phản ứng hoá học, có thể tác dụng lên một số loại phim ảnh, như loại phim để chụp ảnh ban đêm...

Từ Hán – Việt "hồng" có nghĩa là "đỏ", còn "ngoại" có nghĩa là "bên ngoài".

Tia hồng ngoại ít bị tán xạ bởi các giọt nước nhỏ trong sương mù. Do đó, dùng phim ảnh hồng ngoại có thể chụp ảnh qua sương mù.

– Tia hồng ngoại có thể biến điệu (điều biến) được như sóng điện từ cao tần.

– Tia hồng ngoại còn có thể gây ra hiện tượng quang điện trong ở một số chất bán dẫn (xem chương VII).

c) Ứng dụng

- Tia hồng ngoại dùng để sấy khô, sưởi ấm.
- Tia hồng ngoại được sử dụng trong các bộ điều khiển từ xa để điều khiển hoạt động của tivi, thiết bị nghe nhìn,...
- Người ta sử dụng tia hồng ngoại để chụp ảnh bề mặt của Trái Đất từ vệ tinh.
- Tia hồng ngoại có nhiều ứng dụng đa dạng trong lĩnh vực quân sự : tên lửa tự động tìm mục tiêu dựa vào tia hồng ngoại do mục tiêu phát ra ; camera hồng ngoại để chụp ảnh, quay phim ban đêm ; ống nhòm hồng ngoại để quan sát ban đêm...

Giải thích tại sao có thể chụp ảnh ban đêm nhờ camera hồng ngoại.

3. [illegible] ngoại

[illegible] (ngắn hơn bước sóng của ánh sáng tím) [illegible] (hay [illegible] ngoại).

Từ Hán – Việt "tử" có nghĩa là "tím".

[illegible] Tại sao khi làm việc, người thợ hàn hồ quang phải cầm dụng cụ che mắt (và cả mặt) ?

a) Nguồn phát tia tử ngoại

Những vật được nung nóng đến nhiệt độ cao (trên 2 000°C) đều phát tia tử ngoại. Nguồn tia tử ngoại phổ biến hơn cả là đèn hơi thuỷ ngân. Hồ quang điện có nhiệt độ trên 3 000°C là nguồn tia tử ngoại mạnh hay được dùng trước đây (nhưng hiện nay ít dùng).

C3 Dây tóc nóng sáng của bóng đèn điện có phát ra tia tử ngoại không ? Liệu da bạn có bị sạm đen khi đứng gần đèn điện bật sáng ?

b) Tính chất

Tia tử ngoại có một số đặc tính nổi bật sau đây :

– Tác dụng mạnh lên phim ảnh, làm ion hoá không khí và nhiều chất khí khác.

– Kích thích sự phát quang của nhiều chất

(như kẽm sunfua, cađimi sunfua), có thể gây ra một số phản ứng quang hoá và phản ứng hoá học.

– Bị thuỷ tinh, nước,... hấp thụ rất mạnh. Nhưng tia tử ngoại có bước sóng từ 0,18 μm đến 0,4 μm truyền qua được thạch anh.

– Có một số tác dụng sinh lí : huỷ diệt tế bào da, làm da rám nắng, làm hại mắt, diệt khuẩn, diệt nấm mốc,...

– Có thể gây ra hiện tượng quang điện (xem chương VII).

Tầng ôzôn hấp thụ hầu hết các tia tử ngoại có bước sóng dưới 0,300 μm và là "tấm áo giáp" bảo vệ cho người và sinh vật trên mặt đất khỏi bị tác dụng huỷ diệt của các tia tử ngoại trong ánh sáng Mặt Trời.

c) Ứng dụng

Tia tử ngoại thường được dùng để khử trùng nước, thực phẩm và dụng cụ y tế, dùng chữa bệnh (như bệnh còi xương), để tìm vết nứt trên bề mặt kim loại,...

CÂU HỎI

1. Tia hồng ngoại là gì ? Nó do nguồn nào phát ra và phát ra trong những điều kiện nào ? Nêu những tính chất và công dụng của tia hồng ngoại.
2. Tia tử ngoại là gì ? Nó do nguồn nào phát ra và phát ra trong những điều kiện nào ? Nêu những tính chất và công dụng của tia tử ngoại.

BÀI TẬP

1. Tia hồng ngoại được phát ra
   A. chỉ bởi các vật được nung nóng (đến nhiệt độ cao).
   B. chỉ bởi mọi vật có nhiệt độ cao hơn môi trường xung quanh.
   C. chỉ bởi các vật có nhiệt độ trên 0°C.
   D. bởi mọi vật có nhiệt độ lớn hơn 0 K.

2. Tác dụng nổi bật nhất của tia hồng ngoại là
   A. tác dụng quang điện.
   B. tác dụng quang học.
   C. tác dụng nhiệt.
   D. tác dụng hoá học (làm đen phim ảnh).

3. Tia tử ngoại được phát ra rất mạnh từ nguồn nào sau đây ?
   A. Lò sưởi điện.
   B. Lò vi sóng.
   C. Hồ quang điện.
   D. Màn hình vô tuyến.

4. Tia tử ngoại không có tác dụng nào sau đây ?
   A. Quang điện.
   B. Chiếu sáng.
   C. Kích thích sự phát quang.
   D. Sinh lí.

41 TIA X. THUYẾT ĐIỆN TỪ ÁNH SÁNG THANG SÓNG ĐIỆN TỪ

Tại sao có thể sử dụng tia X để chụp ảnh các cơ quan trong cơ thể người ?



RƠN-GHEN
(Wilhem Conrad Röntgen,
1845 – 1923,
giải Nô-ben năm 1901)

Bức xạ do Rơn-ghen phát hiện ra được gọi là tia X vì khi đó, người ta chưa rõ bản chất của nó. Phải sau 17 năm, năm 1912, Lau-e (Max von Laue, 1879 – 1960, giải Nô-ben năm 1914) dựa vào thí nghiệm nhiễu xạ tia X, mới chứng minh được nó là sóng điện từ có bước sóng rất ngắn.

Ống phát ra tia X (gọi tắt là *ống tia X*) đơn giản là các ống tia catôt, trong đó có lắp thêm một điện cực bằng kim loại có nguyên tử lượng lớn để chắn dòng tia catôt. Cực kim loại này gọi là *đối catôt*. Đối catôt thường được nối với anôt. Áp suất trong ống vào khoảng 10^{-3} mmHg. Hiệu điện thế giữa anôt và catôt khoảng vài vạn vôn (Hình 41.1).

1. Tia X

Bức xạ có bước sóng từ 10^{-8} m đến 10^{-11} m (ngắn hơn bước sóng của tia tử ngoại) **được gọi là tia X** (hay **tia Rơn-ghen**).

Người ta cũng thường phân biệt *tia X cứng* (có bước sóng rất ngắn) và *tia X mềm* (có bước sóng dài hơn).

a) Cách tạo tia X

Nhà bác học Rơn-ghen là người đầu tiên (năm 1895) đã tạo ra được tia X. Khi cho chùm tia catôt (chùm êlectron có tốc độ lớn), trong ống tia catôt chẳng hạn, đập vào một miếng kim loại có nguyên tử lượng lớn (như platin hoặc vonfam), ông đã phát hiện thấy rằng, từ đó có phát ra một bức xạ không nhìn thấy được. Bức xạ này có tác dụng làm phát quang một số chất và làm đen phim ảnh. Bức xạ đó được gọi là *tia X* hay *tia Rơn-ghen*.

b) Tính chất

Tia X có một số đặc tính nổi bật sau đây :

– Tính chất đáng chú ý của tia X là *khả năng đâm xuyên*. Tia X đi xuyên qua được giấy, vải, gỗ, thậm chí cả kim loại nữa. Tia X dễ dàng đi xuyên qua tấm nhôm dày vài xentimét, nhưng lại bị lớp chì dày vài milimét chặn lại. Do đó, người ta thường dùng chì để làm các màn chắn tia X. Tia X có bước sóng càng ngắn thì càng xuyên sâu, tức là càng "cứng".

– Tia X có tác dụng mạnh lên phim ảnh, làm ion hoá không khí.

– Tia X có tác dụng làm phát quang nhiều chất.

– Tia X có thể gây ra hiện tượng quang điện (xem chương VII) ở hầu hết kim loại.

– Tia X có tác dụng sinh lí mạnh : huỷ diệt tế bào, diệt vi khuẩn,...

c) Công dụng

Tia X được sử dụng nhiều nhất để chiếu điện, chụp điện (vì nó bị xương và các chỗ tổn thương bên trong cơ thể cản mạnh hơn da thịt) (Hình 41.2), để chẩn đoán bệnh hoặc tìm chỗ xương gãy, mảnh kim loại trong người..., để chữa bệnh (chữa ung thư). Nó còn được dùng trong công nghiệp để kiểm tra chất lượng các vật đúc, tìm các vết nứt, các bọt khí bên trong các vật bằng kim loại ; để kiểm tra hành lí của hành khách đi máy bay, nghiên cứu cấu trúc vật rắn...

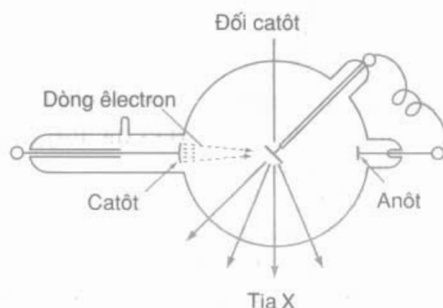
2. Thuyết điện từ về ánh sáng

Dựa vào sự tương tự giữa các tính chất của sóng điện từ và của ánh sáng, phát triển thuyết sóng ánh sáng của Huy-ghen và Fre-nen, năm 1860, Mắc-xoen đã nêu ra giả thuyết mới về bản chất ánh sáng : *ánh sáng là sóng điện từ có bước sóng rất ngắn* (so với sóng vô tuyến điện), lan truyền trong không gian.

Từ thuyết điện từ về ánh sáng, Mắc-xoen cũng đã thiết lập được mối liên hệ giữa tính chất điện từ với tính chất quang của môi trường :

$$\frac{c}{\upsilon} = \sqrt{\varepsilon\mu} \qquad (41.1)$$

trong đó c là tốc độ ánh sáng trong chân không ; υ là tốc độ ánh sáng trong môi trường có hằng số điện môi ε và độ từ thẩm μ. Từ đó, suy ra hệ thức về chiết suất của môi trường :

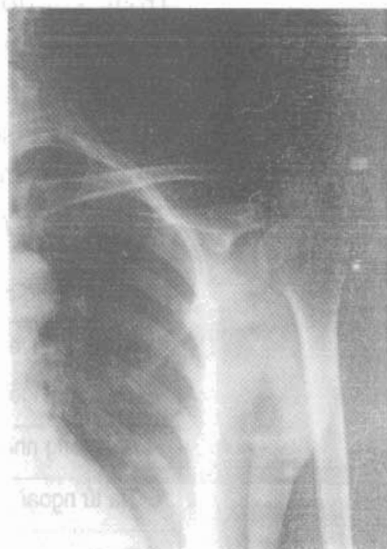


Hình 41.1 Ống tia X.

Trong ống tia X chỉ có một số ít êlectron (chưa đến 1%) có tác dụng tạo tia X, phần còn lại (trên 99%) khi đập vào đối catôt, chỉ có tác dụng nhiệt, làm nóng đối catôt. Do đó, đối catôt nóng lên rất nhanh và phải được làm nguội bằng một dòng nước.

C1 So sánh khả năng đâm xuyên của tia tử ngoại và tia X. Nêu nhận xét.

C2 Có nên để cho tia X tác dụng lâu lên cơ thể người hay không ?



Hình 41.2. Ảnh xương bả vai chụp bằng tia X.

Độ từ thẩm μ của một môi trường đo bằng tỉ số của cảm ứng từ trong môi trường đó và cảm ứng từ trong chân không do cùng một dòng điện gây ra. Đối với không khí $\mu = 1$. Còn với chất sắt từ $\mu \gg 1$.

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu} \qquad (41.2)$$

Tiếp theo, Lo-ren-xơ còn chứng tỏ được rằng ε phụ thuộc vào tần số f của ánh sáng :

$$\varepsilon = F(f) \qquad (41.3)$$

Nhờ đó, ông đã giải thích được sự tán sắc ánh sáng.

Những điều khẳng định nói trên đã được một loạt sự kiện thực nghiệm làm sáng tỏ.

3. Nhìn tổng quát về sóng điện từ. Thang sóng điện từ

Ta thấy trên thang sóng điện từ không có chỗ nào trống và ranh giới giữa các miền không rõ rệt, thậm chí các miền còn lấn lên nhau một phần. Các bức xạ ở chỗ lấn lên nhau đó có thể được phát và thu với hai kĩ thuật khác nhau.

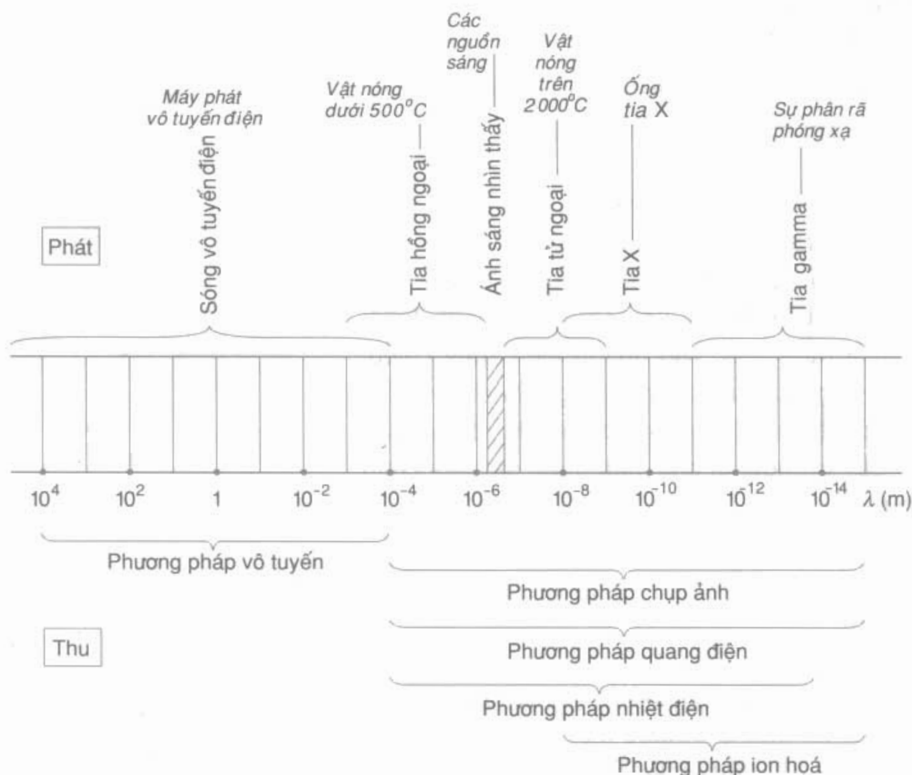
a) Các sóng vô tuyến điện, tia hồng ngoại, ánh sáng nhìn thấy, tia tử ngoại, tia X, và tia gamma (sẽ xét ở chương IX) là sóng điện từ. Các loại sóng điện từ đó tuy được tạo ra bởi những cách rất khác nhau, nhưng về bản chất thì chúng cũng chỉ là một và giữa chúng không có một ranh giới nào thật rõ rệt.

Tuy vậy, ta cũng đã thấy rằng, vì có tần số và bước sóng khác nhau, nên các sóng điện từ có những tính chất rất khác nhau (có thể nhìn thấy hoặc không nhìn thấy, có khả năng đâm xuyên khác nhau, cách phát khác nhau). Các tia có bước sóng càng ngắn (tia X, tia gamma) có tính đâm xuyên càng mạnh, dễ tác dụng lên kính ảnh, dễ làm phát quang các chất và dễ ion hoá không khí. Trong khi đó, với các tia có bước sóng dài, ta dễ quan sát hiện tượng giao thoa.

b) Dưới đây là bảng sắp xếp và phân loại các sóng điện từ theo thứ tự bước sóng (tính ra mét) giảm dần, hay theo thứ tự tần số tăng dần, thường gọi là *thang sóng điện từ.*

Bảng 41.1

Miền sóng điện từ	Bước sóng (m)	Tần số (Hz)
Sóng vô tuyến điện	$3.10^4 \div 10^{-4}$	$\sim 10^4 \div 3.10^{12}$
Tia hồng ngoại	$10^{-3} \div 7{,}6.10^{-7}$	$3.10^{11} \div 4.10^{14}$
Ánh sáng nhìn thấy	$7{,}6.10^{-7} \div 3{,}8.10^{-7}$	$4.10^{14} \div 8.10^{14}$
Tia tử ngoại	$3{,}8.10^{-7} \div 10^{-9}$	$8.10^{14} \div 3.10^{17}$
Tia X	$10^{-8} \div 10^{-11}$	$3.10^{16} \div 3.10^{19}$
Tia gamma	Dưới 10^{-11}	Trên 3.10^{19}



Hình 41.3 Thang sóng điện từ và cách thu, phát.

CÂU HỎI

1. Tia X là gì ? Nó có tính chất và công dụng gì ?
2. Trình bày nguyên tắc tạo ra tia X.
3. Nêu những nét khái quát về thang sóng điện từ.

BÀI TẬP

1. Tia Rơn-ghen, hay tia X, là sóng điện từ có bước sóng

   A. lớn hơn tia hồng ngoại.

   B. nhỏ hơn tia tử ngoại.

   C. nhỏ quá, không đo được.

   D. không đo được, vì nó không gây ra hiện tượng giao thoa.

2. Phát biểu nào sau đây là đúng ?

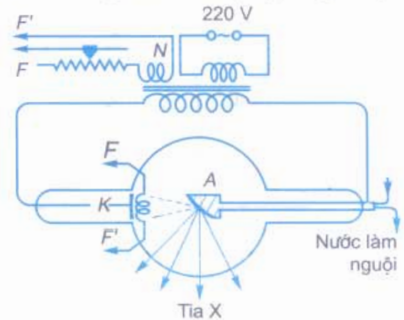
   Tính chất quan trọng nhất của tia X, phân biệt nó với các bức xạ điện từ khác (không kể tia gamma), là

   A. tác dụng mạnh lên kính ảnh.　　B. khả năng ion hoá các chất khí.

   C. tác dụng làm phát quang nhiều chất.　　D. khả năng xuyên qua vải, gỗ, giấy,...

Em có biết ?

Ngày nay, để tạo tia X, người ta dùng ống Cu-lít-giơ. Đó là một ống thuỷ tinh (Hình 41.4) trong là chân không, có gắn ba điện cực : một *dây nung FF'* bằng vonfam (dây này được cuộn thứ cấp của biến thế nung nóng) dùng làm nguồn phát êlectron ; *catôt K* bằng kim loại, để làm cho các êlectron phóng ra từ dây *FF'* đến hội tụ vào *anôt A* (đồng thời là *đối catôt*) làm bằng kim loại, được làm nguội bằng dòng nước khi ống Cu-lít-giơ hoạt động. Anôt và catôt được mắc vào nguồn điện xoay chiều. Tuy ống Cu-lít-giơ chỉ hoạt động trong nửa chu kì đầu, khi anôt *A* có điện thế dương so với catột *K*, nhưng điều đó không gây trở ngại gì cho việc quan sát hay chụp ảnh bằng tia X.



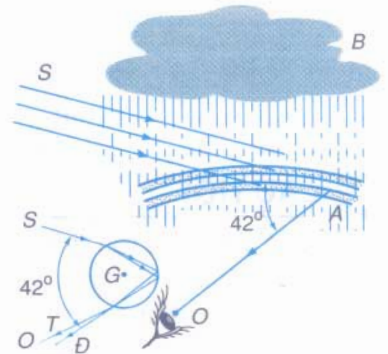
Hình 41.4. Ống Cu-lít-giơ



BÀI ĐỌC THÊM

CẦU VỒNG

Hình 41.5 minh hoạ nguyên tắc tạo ra cầu vồng. Tia sáng Mặt Trời tới một giọt nước mưa rơi xuống từ đám mây, bị khúc xạ lần đầu, sau đó bị phản xạ trong giọt nước, và cuối cùng bị khúc xạ lần thứ hai ra khỏi giọt nước đi tới mắt ta. Biết chiết suất của giọt nước, người ta chứng minh được rằng, chùm tia ló khỏi giọt nước đạt cường độ cực đại khi độ lệch trung bình của nó đối với chùm tia tới vào khoảng $40^o \div 42^o$. Giọt nước đóng vai trò một hệ tán sắc giống như lăng kính : chùm tia tím (T) bị lệch nhiều hơn chùm tia đỏ (Đ).



Hình 41.5 Sự tạo thành cầu vồng.
A là cầu vồng ;
B là đám mây tạo mưa ;
S là chùm tia sáng Mặt Trời ;
O là mắt quan sát viên đứng trên mặt đất ;
G là giọt nước, tại đó có sự khúc xạ và phản xạ tia sáng Mặt Trời tới nó.

Một người muốn trông thấy cầu vồng phải đảm bảo có hai điều kiện. Một là, người quan sát phải ở khoảng giữa Mặt Trời và các giọt nước mưa. Hai là, góc giữa Mặt Trời, giọt nước và mắt người quan sát phải nằm trong khoảng $40^o \div 42^o$. Do hai điều kiện đó, ta chỉ có thể trông thấy cầu vồng trên bầu trời vào buổi sáng và buổi chiều, nếu đó là cầu vồng tạo nên bởi những giọt nước mưa. Ở biên giới trên của cầu vồng là tia đỏ đến từ những giọt nước mưa ở phía trên, ứng với góc 42^o. Còn ở biên giới dưới của cầu vồng là tia tím đến từ những giọt nước mưa ở phía dưới, ứng với góc 40^o. Nằm ở giữa theo thứ tự từ trên xuống là các tia sáng màu cam, vàng, lục, lam và chàm, gộp với hai màu ngoài cùng đỏ và tím thành bảy màu cầu vồng.

Nếu tia sáng Mặt Trời phản xạ hai lần bên trong các giọt nước thì sẽ hình thành cầu vồng kép. Chiếc cầu vồng thứ hai có thứ tự các màu ngược lại với cầu vồng thứ nhất, tức là màu tím ở trên cùng, rồi đến các màu chàm, lam, lục, vàng, cam, đỏ.

42 THỰC HÀNH : XÁC ĐỊNH BƯỚC SÓNG ÁNH SÁNG

1. Mục đích

• Quan sát hiện tượng giao thoa của ánh sáng trắng qua khe Y-âng. Hiểu được hai phương án xác định bước sóng ánh sáng.

• Xác định bước sóng của ánh sáng đơn sắc dựa vào hiện tượng giao thoa của ánh sáng đơn sắc qua khe Y-âng.

• Rèn luyện kĩ năng lựa chọn và sử dụng các dụng cụ thí nghiệm để tạo ra hệ vân giao thoa.

2. Cơ sở lí thuyết

• Khi hai sóng ánh sáng đơn sắc phát ra từ hai nguồn kết hợp giao nhau thì có hiện tượng giao thoa. Khoảng vân (khoảng cách giữa hai vân sáng hoặc hai vân tối cạnh nhau) $i = \lambda \frac{D}{a}$, trong đó λ là bước sóng của ánh sáng đơn sắc, D là khoảng cách từ khe Y-âng đến màn quan sát và a là khoảng cách giữa hai khe (Hình 42.1).



Hình 42.1 Sự giao nhau của hai sóng ánh sáng đơn sắc phát ra từ khe Y-âng.

Nếu đo được i, D và a thì ta xác định được bước sóng của ánh sáng đơn sắc theo công thức $\lambda = \frac{ia}{D}$.

• Vì ánh sáng trắng là tập hợp của vô số ánh sáng đơn sắc khác nhau và khoảng vân phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng, nên khi hai chùm ánh sáng trắng giao nhau thì trên màn, ta sẽ quan sát thấy nhiều hệ vân giao thoa của các sóng ánh sáng đơn sắc và chúng không trùng khít nhau.

3. Phương án thí nghiệm

a) Phương án 1

• Dụng cụ thí nghiệm

Kính giao thoa là một hệ đồng trục (Hình 42.2) gồm các bộ phận sau :

– Nguồn sáng : Đèn pin 3 V – 1,5 W (1).

– Ống hình trụ L_1 chứa các khe, gồm :

+ Đĩa tròn (2) có khe hẹp S dọc theo đường kính đĩa và được gắn cố định ở đầu ống.

+ Đĩa tròn (3) nằm ở đầu kia của ống, có hai khe S_1, S_2 rộng $\frac{1}{10}$ mm, song song với khe S, cách nhau 0,25 mm. Đĩa (3) được gắn vào mặt phẳng của một thấu kính hội tụ có tiêu cự bằng khoảng cách từ đĩa (2) tới đĩa (3).

– Ống quan sát hình trụ L_2 có đường kính bằng đường kính ống L_1, gồm :

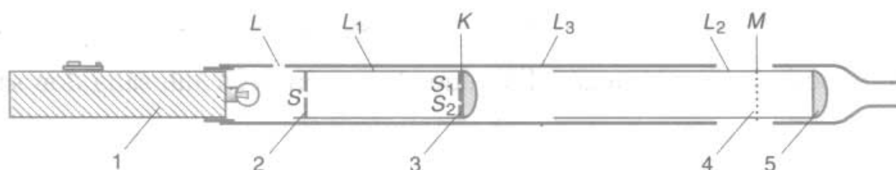
+ Kính lúp (5) nằm ở đầu ống, đóng vai trò là một thị kính.

+ Màn hứng vân giao thoa (4) là một đĩa trong suốt, có thước chia đến $\frac{1}{10}$ mm để đo khoảng vân, nằm ở gần tiêu diện của kính lúp. Vị trí của màn hứng vân được đánh dấu bằng vạch M ở bên ngoài ống L_2.

Đèn và ống L_1 được gắn khít đồng trục trong ống định hướng L_3 sao cho dây tóc bóng đèn nằm song song với các khe. Ở thành ống L_3 có khe L nằm trước đĩa tròn (2) để lắp kính lọc sắc và có vạch đánh dấu vị trí K của hai khe S_1, S_2. Ống quan sát L_2 lồng khít trong ống định hướng L_3 và có thể dịch chuyển được dọc theo ống L_3 để thay đổi khoảng cách từ hai khe (3) tới màn (4).

– Kính lọc sắc màu đỏ và kính lọc sắc màu xanh.

– Thước chia đến milimét.



Hình 42.2 Kính giao thoa.

• Tiến trình thí nghiệm

– Xác định bước sóng của ánh sáng đỏ và bước sóng của ánh sáng xanh

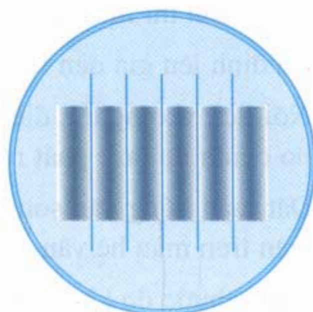
+ Đặt kính lọc sắc màu đỏ vào khe L và bật công tắc đèn pin.

+ Đặt mắt nhìn hệ vân giao thoa qua kính lúp (5) và xoay nhẹ ống quan sát L_2 sao cho các vạch chia trên thước ở màn (4) song song với các vân giao thoa.

+ Dịch chuyển ống L_2 (kéo ra hoặc đẩy vào) tới khi điểm giữa của tất cả các vân sáng hoặc của tất cả các vân tối trùng với các vạch chia trên thước (Hình 42.3). Khi đó, khoảng vân $i = 0,1$ mm.

+ Dùng thước đo khoảng cách từ khe Y-âng tới màn $D_1 = KM$ và ghi vào bảng số liệu.

+ Xê dịch ống quan sát L_2 hai lần để tìm vị trí của màn mà ta cho rằng các vạch chia trên thước ở màn trùng với điểm giữa của các vân sáng hoặc của các vân tối. Dùng thước đo D_2, D_3 tương ứng và ghi vào bảng số liệu.



Hình 42.3 Hệ vân giao thoa trên màn.

Cho biết $a = 0,250$ mm $\pm$ 0,005 mm, $i = 0,100$ mm $\pm$ 0,005 mm, tính $\overline{D}$, ΔD, $\overline{\lambda}$, $\Delta\lambda$ theo các công thức :

$$\Delta D = \frac{D_{max} - D_{min}}{2} \; ; \; \overline{\lambda} = \frac{\overline{i}\overline{a}}{\overline{D}} \; ; \; \Delta\lambda = \overline{\lambda}\left(\frac{\Delta i}{\overline{i}} + \frac{\Delta a}{\overline{a}} + \frac{\Delta D}{\overline{D}}\right)$$

+ Lặp lại các bước thí nghiệm trên ứng với kính lọc sắc màu xanh.

– Quan sát hiện tượng giao thoa của hai chùm ánh sáng trắng

+ Bỏ kính lọc sắc ra khỏi khe L.

+ Đặt mắt nhìn hệ vân giao thoa qua kính lúp (5). Mô tả hệ vân giao thoa quan sát được và giải thích kết quả quan sát này.

+ Nếu thay đổi D, hệ vân giao thoa sẽ thay đổi như thế nào ? Tiến hành thí nghiệm kiểm tra dự đoán.

b) Phương án 2

• Dụng cụ thí nghiệm

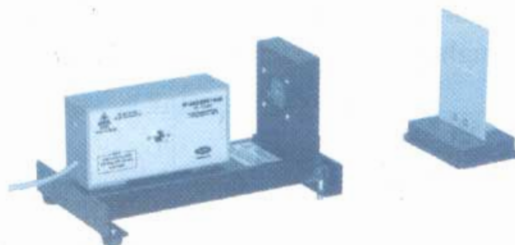
– Đèn laze bán dẫn 1 ÷ 5 mW.

– Tấm chứa khe Y-âng gồm hai khe hẹp, song song và cách nhau $a = 0,4$ mm.

– Màn hứng vân giao thoa.

– Các đế để đặt đèn, tấm chứa khe Y-âng và màn hứng vân giao thoa.

– Thước cuộn chia đến milimét.



Hình 42.4 *Thí nghiệm xác định bước sóng ánh sáng laze*

• Tiến trình thí nghiệm

– Cố định lên giá đèn laze và tấm chứa khe Y-âng.

– Nối đèn vào nguồn điện xoay chiều 220 V và điều chỉnh tấm chứa khe Y-âng sao cho chùm tia laze phát ra từ đèn chiếu đều vào Y-âng kép.

– Đặt màn hứng vân song song và cách tấm chứa Y-âng kép khoảng 1 m để làm xuất hiện trên màn hệ vân giao thoa rõ nét.

– Dùng thước đo khoảng cách D_1 từ khe Y-âng tới màn và khoảng cách l_1 giữa 6 vân sáng hoặc 6 vân tối liên tiếp. Điền các giá trị D_1, l_1 vào bảng số liệu.

Tính, ghi vào bảng số liệu khoảng vân $i_1 = \frac{l_1}{5}$ và bước sóng ánh sáng laze theo công thức $\lambda = \frac{ia}{D}$.

– Lặp lại bước thí nghiệm trên ứng với hai giá trị D lớn hơn D_1 bằng cách dịch chuyển màn hứng vân.

– Tính $\overline{\lambda}$ và $\Delta\lambda$.

4. Báo cáo thí nghiệm

a) Mục đích thí nghiệm.

b) Cơ sở lí thuyết.

c) Tiến trình thí nghiệm.

d) Kết quả thí nghiệm.

• ***Phương án 1 :***

– Xác định bước sóng của ánh sáng đỏ và bước sóng của ánh sáng xanh.

$a = 0{,}250 \text{ mm} \pm 0{,}005 \text{ mm}$; $i = 0{,}100 \text{ mm} \pm 0{,}005 \text{ mm}$

Bảng 42.1

Lần thí nghiệm	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	$\overline{D}$ (mm)	ΔD (mm)	$\overline{\lambda} = \frac{\overline{i}\overline{a}}{\overline{D}}$ (mm)	$\Delta\lambda$ (mm)	$\lambda = \overline{\lambda} \pm \Delta\lambda$ (mm)
Ứng với kính lọc sắc màu đỏ								
Ứng với kính lọc sắc màu xanh								

– Mô tả hệ vân giao thoa của hai chùm ánh sáng trắng và giải thích kết quả quan sát được.

– Mô tả sự thay đổi của hệ vân giao thoa khi thay đổi D.

• ***Phương án 2 :*** Xác định bước sóng ánh sáng laze

Bảng 42.2

Lần thí nghiệm	D(mm)	l (mm)	$i = \frac{l}{5}$ (mm)	$\lambda = \frac{ia}{D}$ (mm)
1				
2				
3				

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3} = ... \quad ; \quad \Delta\lambda = \frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{2} = ...$$

$$\lambda = \overline{\lambda} \pm \Delta\lambda = ...$$

e) Nhận xét.

CÂU HỎI

1. Trong phương án 1, vì sao phải điều chỉnh dây tóc bóng đèn nằm song song với các khe ? Nếu đặt vuông góc thì sao ?

2. Trong phương án 2, vì sao phải đặt màn hứng vân giao thoa song song với tấm chứa khe Y-âng ? Nếu đặt nghiêng một góc 45^o thì có ảnh hưởng gì đến thí nghiệm ?

BÀI TẬP

1. Tại sao ở phương án 1, bằng cách dịch chuyển ống quan sát, ta có thể làm cho khoảng vân đạt giá trị i = 0,1 mm. Khi nào thì phải kéo ống quan sát ra và khi nào thì phải đẩy ống quan sát ngược lại ?

2. Ở phương án 2 :

– Nếu thay đèn laze phát ánh sáng màu đỏ bằng đèn laze phát ánh sáng màu xanh thì hệ vân giao thoa thu được trên màn sẽ thay đổi như thế nào ?

– Nếu mỗi khe trong khe Y-âng được chiếu sáng nhờ một đèn laze riêng biệt phát ánh sáng cùng bước sóng thì hiện tượng trên màn quan sát được sẽ như thế nào ?

TÓM TẮT CHƯƠNG VI

1. Hiện tượng tán sắc là hiện tượng một chùm ánh sáng trắng truyền qua lăng kính bị phân tách thành các thành phần đơn sắc khác nhau : tia tím bị lệch nhiều nhất, tia đỏ bị lệch ít nhất.

Nguyên nhân của hiện tượng tán sắc ánh sáng là do tốc độ truyền ánh sáng trong môi trường trong suốt phụ thuộc vào tần số của ánh sáng. Vì vậy chiết suất của môi trường trong suốt phụ thuộc vào tần số (và bước sóng của ánh sáng). Ánh sáng có tần số càng nhỏ (bước sóng càng dài) thì chiết suất của môi trường càng bé.

Ánh sáng đơn sắc là ánh sáng có bước sóng (tần số) và màu sắc nhất định ; nó không bị tán sắc khi đi qua lăng kính. Ánh sáng trắng (ánh sáng phức tạp) là tập hợp của rất nhiều ánh sáng đơn sắc khác nhau.

Hiện tượng tán sắc ánh sáng được ứng dụng trong máy quang phổ để phân tích chùm ánh sáng phức tạp, do các nguồn sáng phát ra, thành các thành phần đơn sắc.

2. Hiện tượng ánh sáng không tuân theo định luật truyền thẳng, quan sát được khi ánh sáng truyền qua lỗ nhỏ, hoặc gần mép những vật trong suốt hoặc không trong suốt, gọi là sự nhiễu xạ ánh sáng.

3. Hai sóng ánh sáng kết hợp khi gặp nhau sẽ giao thoa với nhau.

Vân giao thoa (trong thí nghiệm với khe Y-âng) là những vạch sáng và tối xen kẽ nhau một cách đều đặn, có khoảng vân là $i = \frac{\lambda D}{a}$.

4. Quang phổ liên tục chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn sáng và được ứng dụng để đo nhiệt độ của nguồn.

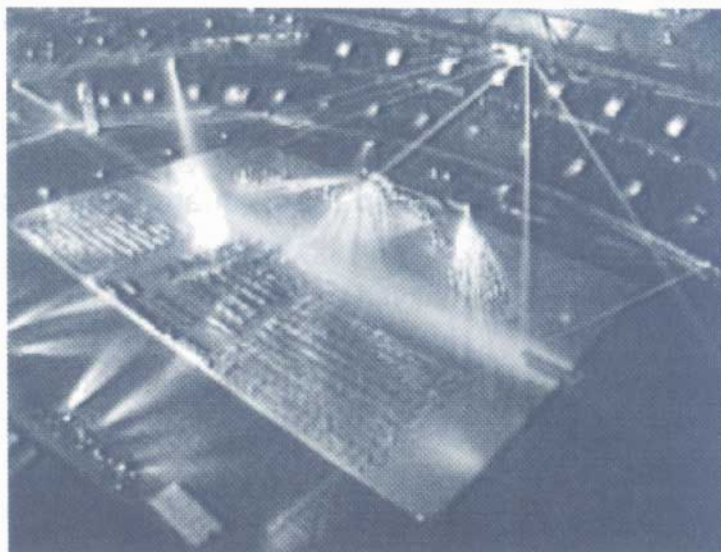
Quang phổ vạch hấp thụ và phát xạ của các nguyên tố khác nhau thì khác nhau. Những vạch tối trong quang phổ vạch hấp thụ của một nguyên tố nằm đúng vị trí những vạch màu trong quang phổ vạch phát xạ của nguyên tố ấy.

5. Ngoài quang phổ nhìn thấy còn có các bức xạ không nhìn thấy : tia hồng ngoại (có bước sóng từ vài milimét đến 0,76 mm), tia tử ngoại (có bước sóng từ $3,8.10^{-7}$ m đến 10^{-9} m), tia X (có bước sóng 10^{-8} m đến 10^{-11} m)... Các bức xạ này được phát ra trong những điều kiện nhất định : tia hồng ngoại do các vật bị nung nóng phát ra, còn tia X được phát ra từ mặt đối catôt của ống tia X. Các bức xạ đó có nhiều tính chất và công dụng khác nhau.

Tia hồng ngoại, ánh sáng nhìn thấy, tia tử ngoại, tia X... đều là các sóng điện từ nhưng có bước sóng khác nhau.

CHƯƠNG VII

LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG



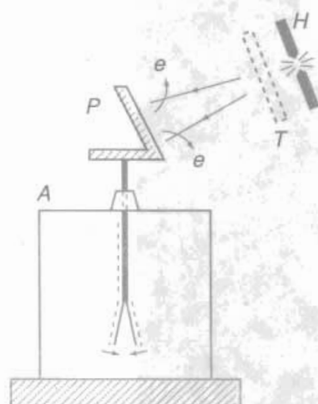
Các chùm tia laze nhiều màu sắc chiếu lên làm tăng vẻ rực rỡ quang cảnh lễ khai mạc SEAGAMES 22 tại sân vận động quốc gia Mỹ Đình, Thành phố Hà Nội (năm 2003).

Trong chương trước, để giải thích các hiện tượng quang học, ta đã khẳng định ánh sáng chính là sóng điện từ. Trong chương này, ta lại thấy chùm sáng là một chùm các hạt phôtôn. Như vậy, ánh sáng có lưỡng tính sóng – hạt. Nhờ thuyết lượng tử ánh sáng, có thể giải thích các hiện tượng như hiện tượng quang điện, hiện tượng quang dẫn, sự tạo thành quang phổ vạch, hoạt động của laze,...

43 HIỆN TƯỢNG QUANG ĐIỆN NGOÀI CÁC ĐỊNH LUẬT QUANG ĐIỆN

Một hành khách đi về phía cửa vào nhà ga Cảng Hàng không quốc tế Nội Bài nhìn thấy hai tấm cửa kính đang khép lại. Nhưng khi anh ta lại gần thì lạ thay (!), hai tấm cửa kính tự động tách xa nhau, và khi anh ta đi vào trong nhà ga thì hai tấm cửa kính lại khép lại như cũ.

Thiết bị tự động đóng - mở cửa nhà ga hoạt động dựa trên hiện tượng quang điện.



Hình 43.1 Thí nghiệm phát hiện hiện tượng quang điện.

P là tấm kẽm ; *H* là đèn hồ quang ; *A* là điện nghiệm ; *T* là tấm thuỷ tinh không màu.

Chiếu ánh sáng hồ quang vào tấm kẽm *P* ban đầu tích điện âm thì hai lá của điện nghiệm khép lại : tấm kẽm mất điện tích âm.

Chắn chùm tia hồ quang bằng tấm thuỷ tinh không màu (có tác dụng hấp thụ tia tử ngoại) thì hai lá của điện nghiệm không bị khép lại : tấm kẽm không mất điện tích âm.

C1 Nếu chiếu tia tử ngoại vào một tấm kẽm ban đầu tích điện dương thì hiện tượng sẽ xảy ra như thế nào ?

1. Hiện tượng quang điện ngoài

Năm 1887, nhà vật lí người Đức, Héc (Heinrich Rudolf Hertz, 1857 – 1894) đã làm thí nghiệm chiếu tia tử ngoại vào một tấm kẽm ban đầu tích điện âm (sơ đồ thí nghiệm tương tự như ở Hình 43.1). Kết quả thí nghiệm cho thấy tấm kẽm bị mất điện tích âm.

Héc cho rằng, tia tử ngoại (có bước sóng ngắn) khi chiếu vào tấm kẽm, đã làm bật các êlectron ra khỏi tấm đó.

Làm thí nghiệm với các tấm kim loại khác (như đồng, nhôm, bạc, niken...), người ta cũng thấy hiện tượng tương tự xảy ra.

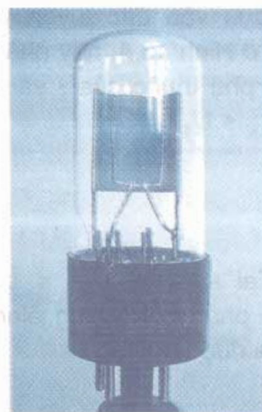
Hiện tượng ánh sáng làm bật các êlectron ra khỏi bề mặt kim loại gọi là hiện tượng quang điện ngoài, thường gọi tắt là *hiện tượng quang điện*.

Các êlectron bị bật ra khỏi bề mặt kim loại bị chiếu sáng gọi là *quang êlectron*, còn gọi là *êlectron quang điện*.

2. Thí nghiệm khảo sát định lượng hiện tượng quang điện

Để khảo sát hiện tượng quang điện một cách đầy đủ, người ta dùng tế bào quang điện (Hình 43.2).

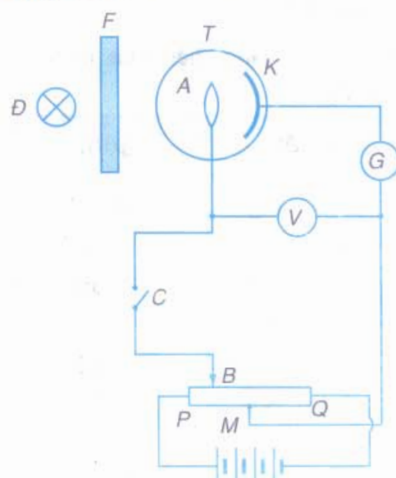
Tế bào quang điện là một bình bằng thạch anh đã hút hết không khí (tế bào quang điện chân không), bên trong có hai điện cực : anôt là một vòng dây kim loại ; catôt có dạng một chỏm cầu bằng kim loại mà ta cần khảo sát (hoặc một lá kim loại mỏng uốn thành nửa hình trụ).



Hình 43.2 *Tế bào quang điện.*

a) Thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm được vẽ trên Hình 43.3.



Hình 43.3 *Sơ đồ thí nghiệm với tế bào quang điện.*

Catôt K nối vào điểm giữa M của biến trở PQ. Anôt A mắc với con chạy của biến trở PQ.

G là một micrôampe kế để đo cường độ dòng điện I (gọi là *dòng quang điện*) chạy qua tế bào quang điện T.

Nguồn sáng $Đ$ (đèn hơi thuỷ ngân chẳng hạn) cùng với các kính lọc sắc F (làm nhiệm vụ tách ra một chùm sáng đơn sắc phát ra từ nguồn) dùng để chiếu vào catôt K một chùm sáng đơn sắc có bước sóng nhất định.

Hiệu điện thế U_{AK} giữa anôt và catôt có thể có giá trị dương hoặc âm khi dịch chuyển con chạy B trên PQ.

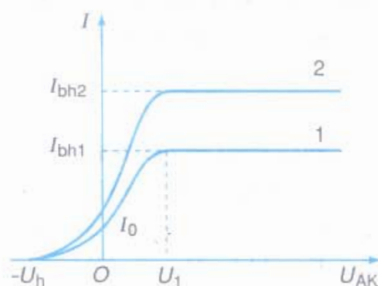
b) Kết quả thí nghiệm và nhận xét

• Đóng khoá C và di chuyển con chạy B để $U_{AK} > 0$. Chiếu chùm ánh sáng có bước sóng ngắn vào catôt, thì xảy ra hiện tượng quang điện và trong mạch xuất hiện dòng điện gọi là *dòng quang điện*, tạo nên bởi các êlectron bị bật ra từ catôt.

Dùng các kính lọc sắc F khác nhau thì thấy dòng quang điện chỉ xuất hiện khi ánh sáng chiếu vào catôt có bước sóng nhỏ hơn hoặc bằng trị số λ_0.

• Như vậy hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi $\lambda \leq \lambda_0$. Giá trị λ_0 được gọi là *giới hạn quang điện*. Các khảo sát chi tiết còn cho thấy với các catôt làm bằng các kim loại khác nhau thì λ_0 có các trị số khác nhau.

• Với một chùm sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda \leq \lambda_0$ và có cường độ sáng nhất định thì sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện I vào hiệu điện thế U_{AK} giữa anôt và catôt được mô tả như đồ thị 1 trên Hình 43.4.



Hình 43.4 *Đặc tuyến vôn – ampe của tế bào quang điện.*

• Từ đồ thị, ta thấy :

+ Khi $U_{AK} \leq -U_h$ thì dòng quang điện bị triệt tiêu hoàn toàn ($I = 0$). Sở dĩ như vậy là vì : êlectron bị bật ra từ catôt, với tốc độ ban đầu v_{0max} và động năng ban đầu W_{dmax}, đã chịu tác dụng của lực điện trường hướng về catôt (do U_h gây ra) ; lực này đã ngăn không cho êlectron tới anôt để gây ra dòng quang điện.

C2 Dựa vào đặc tuyến vôn - ampe ở Hình 43.4, hãy nhận xét về sự phụ thuộc của I vào U_{AK} khi $U_{AK} < U_1$.

C3 Tại sao khi $U_{AK} < U_1$ thì không phải mọi quang êlectron đều tới được anôt ?

Bảng 43.1

Giới hạn quang điện của một số kim loại

Chất	λ_0 (μm)
Bạc Ag	0,260
Đồng Cu	0,300
Kẽm Zn	0,350
Nhôm Al	0,360
Canxi Ca	0,430
Natri Na	0,500
Kali K	0,550
Xesi Cs	0,580

C4 Hãy chứng tỏ rằng, ba định luật quang điện bao hàm được tất cả các kết quả thí nghiệm trên.

Thuyết điện từ về ánh sáng không giải thích được hiện tượng quang điện. Thật vậy, theo thuyết điện từ về ánh sáng, cường độ của chùm sáng kích thích càng lớn, thì điện trường biến thiên trong sóng ánh sáng càng mạnh, làm cho êlectron trong kim loại dao động càng mạnh, tốc độ và động năng của êlectron càng lớn. Hiện tượng quang điện sẽ xảy ra, khi động năng êlectron đạt được

Vì vậy, U_h được gọi là *hiệu điện thế hãm*. Trị số của U_h phụ thuộc bước sóng λ. Như vậy, giữa động năng ban đầu cực đại của quang êlectron và độ lớn của hiệu điện thế hãm có hệ thức :

$$W_{đmax} = \frac{mv_{0\max}^2}{2} = eU_h \qquad (43.1)$$

+ Khi $U_{AK} \geq U_1$ thì cường độ dòng quang điện luôn giữ giá trị không đổi $I = I_{bh}$. Giá trị I_{bh} đó gọi là *cường độ dòng quang điện bão hoà.*

Với bước sóng λ giữ nguyên trị số như cũ nhưng tăng cường độ ánh sáng chiếu vào catôt, thì thấy cường độ dòng quang điện bão hoà tăng tỉ lệ thuận với cường độ ánh sáng (đồ thị 2 trên Hình 43.4).

3. Các định luật quang điện

Từ kết quả của các thí nghiệm về hiện tượng quang điện, các nhà bác học đã rút ra ba định luật sau đây, gọi là các định luật quang điện.

a) Định luật quang điện thứ nhất (hay định luật về giới hạn quang điện)

Hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi ánh sáng kích thích chiếu vào kim loại có bước sóng nhỏ hơn hoặc bằng bước sóng λ_0. λ_0 được gọi là giới hạn quang điện của kim loại đó :

$$\lambda \leq \lambda_0 \qquad (43.2)$$

Các kim loại khác nhau có giới hạn quang điện khác nhau (xem Bảng 43.1). Trừ kim loại kiềm và một vài kim loại kiềm thổ có giới hạn quang điện trong miền ánh sáng nhìn thấy, các kim loại thường dùng khác đều có giới hạn quang điện trong miền tử ngoại.

b) Định luật quang điện thứ hai (hay định luật về cường độ dòng quang điện bão hoà)

Đối với mỗi ánh sáng thích hợp (có $\lambda \leq \lambda_0$), cường độ dòng quang điện bão hoà tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng kích thích.

Định luật quang điện thứ hai được ứng dụng trong các máy đo ánh sáng. Từ việc đo cường độ dòng quang điện, dễ dàng suy ra cường độ chùm sáng cần đo.

c) Định luật quang điện thứ ba (hay định luật về động năng cực đại của quang êlectron)

Động năng ban đầu cực đại của quang êlectron không phụ thuộc cường độ của chùm sáng kích thích, mà chỉ phụ thuộc bước sóng ánh sáng kích thích và bản chất của kim loại.

giá trị đủ lớn để êlectron bứt ra khỏi mặt kim loại. Như vậy, theo thuyết điện từ về ánh sáng, muốn cho hiện tượng quang điện xảy ra thì : cường độ chùm sáng kích thích phải lớn hơn một giới hạn nào đó ; động năng của quang êlectron phải tăng theo cường độ ánh sáng ; bước sóng của ánh sáng kích thích thì hoàn toàn không có ảnh hưởng gì cả. Cả ba kết luận này đều mâu thuẫn với ba định luật quang điện nêu trên.

CÂU HỎI

1. Mô tả khái quát sơ đồ thí nghiệm với tế bào quang điện. Vẽ đặc tuyến vôn – ampe của tế bào quang điện.
2. Trình bày các kết luận chính rút ra từ kết quả thí nghiệm.
3. Phát biểu các định luật quang điện.

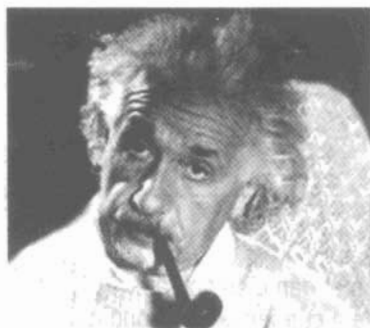
BÀI TẬP

1. Nếu chiếu một chùm tia hồng ngoại vào tấm kẽm tích điện âm, thì
   A. tấm kẽm mất dần điện tích dương.
   B. tấm kẽm mất dần điện tích âm.
   C. tấm kẽm trở nên trung hoà điện.
   D. điện tích âm của tấm kẽm không đổi.
2. Giới hạn quang điện của mỗi kim loại là
   A. bước sóng của ánh sáng kích thích chiếu vào kim loại gây ra hiện tượng quang điện.
   B. công thoát của các êlectron ở bề mặt kim loại đó.
   C. bước sóng giới hạn của ánh sáng kích thích để gây ra hiện tượng quang điện đối với kim loại đó.
   D. hiệu điện thế hãm.
3. Để gây ra hiện tượng quang điện, bức xạ rọi vào kim loại phải thoả mãn điều kiện nào sau đây ?
   A. Tần số có giá trị bất kì.
   B. Tần số nhỏ hơn một tần số nào đó.
   C. Bước sóng nhỏ hơn giới hạn quang điện.
   D. Bước sóng lớn hơn giới hạn quang điện.
4. Với một bức xạ có bước sóng thích hợp thì cường độ dòng quang điện bão hoà
   A. triệt tiêu, khi cường độ chùm sáng kích thích nhỏ hơn một giá trị giới hạn.
   B. tỉ lệ với bình phương cường độ chùm sáng.
   C. tỉ lệ với căn bậc hai của cường độ chùm sáng.
   D. tỉ lệ thuận với cường độ chùm sáng.
5. Tính vận tốc ban đầu cực đại của quang êlectron, biết rằng hiệu điện thế hãm bằng 1,8 V.

44 THUYẾT LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG LƯỠNG TÍNH SÓNG - HẠT CỦA ÁNH SÁNG



PLĂNG
(Max Planck, 1858 – 1947, nhà vật lí người Đức, giải Nô-ben năm 1918)



ANH-XTANH
(Albert Einstein, 1879 – 1955, nhà vật lí người Đức, giải Nô-ben năm 1921)

C1 Hãy tính năng lượng của phôtôn ứng với ánh sáng đỏ có bước sóng $\lambda = 0,75\ \mu m$.

Chùm sáng có cường độ nhỏ nhất mà mắt ta còn nhìn thấy được chứa khoảng 100 phôtôn. Vì vậy, khi nhìn một vật, mắt ta không phát hiện được các thăng giáng của cường độ sáng do tính gián đoạn của phôtôn gây ra.

1. Thuyết lượng tử ánh sáng

a) Giả thuyết lượng tử năng lượng của Plăng

Năm 1900, nhà vật lí Plăng đã đề xướng giả thuyết về *lượng tử năng lượng* nhằm giải thích sự phát và hấp thụ bức xạ của các vật, đặc biệt là các vật nóng sáng (bức xạ nhiệt).

Theo Plăng thì *lượng năng lượng mà mỗi lần một nguyên tử hay phân tử hấp thụ hay phát xạ có giá trị hoàn toàn xác định, gọi là lượng tử năng lượng. Lượng tử năng lượng, kí hiệu ε, có giá trị bằng :*

$$\varepsilon = hf \qquad (44.1)$$

trong đó f là tần số của ánh sáng bị hấp thụ hay được phát ra ; h là một hằng số, gọi là *hằng số Plăng*, $h = 6,625.10^{-34}$ J.s.

Giả thuyết Plăng đã được nhiều sự kiện thực nghiệm xác nhận là đúng và là cơ sở của một thuyết vật lí mới : *thuyết lượng tử.*

b) Thuyết lượng tử ánh sáng. Phôtôn

Năm 1905, để giải thích hiện tượng quang điện, nhà bác học Anh-xtanh, đã phát triển giả thuyết của Plăng lên một bước và đề xuất *thuyết lượng tử ánh sáng*. Thuyết lượng tử ánh sáng (còn gọi là *thuyết phôtôn*) có nội dung cơ bản như sau :

1. Chùm ánh sáng là một chùm các phôtôn (các lượng tử ánh sáng). Mỗi phôtôn có năng lượng xác định ε = hf (f là tần số của sóng ánh sáng đơn sắc tương ứng). Cường độ của chùm sáng tỉ lệ với số phôtôn phát ra trong 1 giây.

2. Phân tử, nguyên tử, êlectron... phát xạ hay hấp thụ ánh sáng, cũng có nghĩa là chúng phát xạ hay hấp thụ phôtôn.

3. Các phôtôn bay dọc theo tia sáng với tốc độ $c = 3.10^8$ m/s trong chân không.

Năng lượng của mỗi phôtôn rất nhỏ. Một chùm sáng dù yếu cũng chứa rất nhiều phôtôn do rất nhiều nguyên tử, phân tử phát ra. Vì vậy ta nhìn thấy chùm sáng liên tục.

2. Giải thích các định luật quang điện

a) Công thức Anh-xtanh về hiện tượng quang điện

Anh-xtanh cho rằng, hiện tượng quang điện xảy ra là do êlectron trong kim loại hấp thụ phôtôn của ánh sáng kích thích. Phôtôn bị hấp thụ truyền toàn bộ năng lượng của nó cho êlectron. Năng lượng ε này được dùng để :

– Cung cấp cho êlectron một công A, gọi là *công thoát*, để êlectron thắng được lực liên kết với mạng tinh thể và thoát ra khỏi bề mặt kim loại ;

– Truyền cho êlectron đó một động năng ban đầu ;

– Truyền một phần năng lượng cho mạng tinh thể.

Nếu êlectron này nằm ngay trên lớp bề mặt kim loại thì nó có thể thoát ra ngay mà không mất năng lượng truyền cho mạng tinh thể. Động năng ban đầu của êlectron này có giá trị cực đại $\frac{mv_{0\max}^2}{2}$.

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng, ta có :

$$hf = A + \frac{mv_{0\max}^2}{2} \qquad (44.2)$$

Đó là *công thức Anh-xtanh về hiện tượng quang điện*.

b) Giải thích các định luật quang điện

– *Định luật thứ nhất*. Theo công thức (44.2), muốn cho hiện tượng quang điện xảy ra, nghĩa là muốn cho êlectron bật ra khỏi bề mặt kim loại dùng làm catôt, thì phôtôn của chùm sáng chiếu vào catôt phải có năng lượng lớn hơn,

Chú ý rằng, phôtôn chỉ tồn tại trong trạng thái chuyển động. Không có phôtôn đứng yên.

C2 Trong chùm sáng màu đỏ có mấy loại phôtôn ?

C3 Giải thích tại sao các êlectron nằm trong khối kim loại lại có động năng ban đầu (khi bứt ra) nhỏ hơn $\frac{mv_{0\max}^2}{2}$.

hoặc ít nhất phải bằng công thoát A, nghĩa là phải có $hf \geq A$ hay $h\frac{c}{\lambda} \geq A$. Từ đó, suy ra $\lambda \leq \lambda_0$, với $\lambda_0 = \frac{hc}{A}$.

Bước sóng λ_0 chính là *giới hạn quang điện của kim loại làm catôt.*

– *Định luật thứ hai.* Cường độ của dòng quang điện bão hoà tỉ lệ thuận với số quang êlectron bật ra khỏi catôt trong một đơn vị thời gian. Với các chùm sáng có khả năng gây ra hiện tượng quang điện, thì số quang êlectron bị bật ra khỏi mặt catôt trong một đơn vị thời gian lại tỉ lệ thuận với số phôtôn đến đập vào mặt catôt trong thời gian đó. Số phôtôn này tỉ lệ với cường độ của chùm sáng tới. Từ đó suy ra, cường độ của dòng quang điện bão hoà tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng chiếu vào catôt.

C4 Vận dụng công thức (44.2), hãy giải thích định luật quang điện thứ ba.

3. Lưỡng tính sóng - hạt của ánh sáng

a) Để giải thích các hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ (chương VI), ta đã thừa nhận ánh sáng nhìn thấy có tính chất sóng. Ngoài ra, ta cũng thấy rằng tia hồng ngoại, tia tử ngoại, tia X có cùng bản chất với ánh sáng thông thường. Ánh sáng là sóng điện từ.

Thế nhưng, để giải thích hiện tượng quang điện, ta lại phải thừa nhận rằng chùm sáng là một chùm các phôtôn.

Như vậy, ***ánh sáng vừa có tính chất sóng, vừa có tính chất hạt.*** Người ta nói rằng, ***ánh sáng có lưỡng tính sóng – hạt.***

C5 Sóng và hạt có đặc điểm gì khác biệt nhau ?

Lưỡng tính sóng - hạt được phát hiện đầu tiên ở ánh sáng, về sau lại được phát hiện ở các hạt vi mô, như êlectron, prôtôn,... Có thể nói : lưỡng tính sóng - hạt là tính chất tổng quát của mọi vật. Tuy nhiên, với các vật có kích thước thông thường, phép tính cho thấy sóng tương ứng với chúng có bước sóng quá nhỏ, nên tính chất sóng của chúng khó phát hiện ra.

b) Trong mỗi hiện tượng quang học, ánh sáng thường thể hiện rõ một trong hai tính chất trên. Khi tính chất sóng thể hiện rõ, thì tính chất hạt lại mờ nhạt, và ngược lại.

Sóng điện từ có bước sóng càng ngắn, phôtôn ứng với nó có năng lượng càng lớn thì tính chất hạt thể hiện càng rõ, như ở hiện tượng quang điện, ở khả năng đâm xuyên, ở tác dụng phát quang..., còn tính chất sóng càng mờ nhạt. Trái lại, sóng điện từ có bước sóng càng dài, phôtôn ứng với nó có năng lượng càng nhỏ, thì tính chất sóng lại thể hiện rõ hơn (ở hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ, tán sắc,...), còn tính chất hạt thì mờ nhạt.

CÂU HỎI

1. Trình bày nội dung của thuyết lượng tử ánh sáng.
2. Giải thích các định luật quang điện bằng thuyết lượng tử ánh sáng.
3. Thế nào là lưỡng tính sóng – hạt của ánh sáng ?

BÀI TẬP

1. Theo giả thuyết lượng tử của Plăng thì năng lượng của
   A. mọi êlectron
   B. mọi nguyên tử
   C. phân tử mọi chất
   D. một chùm sáng đơn sắc
   phải luôn luôn bằng một số nguyên lần lượng tử năng lượng.

2. Theo thuyết phôtôn của Anh-xtanh, thì năng lượng
   A. của mọi phôtôn đều bằng nhau.
   B. của một phôtôn bằng một lượng tử năng lượng.
   C. giảm dần, khi phôtôn càng rời xa nguồn.
   D. của phôtôn không phụ thuộc bước sóng.

3. Công thức Anh-xtanh về hiện tượng quang điện là
   A. $hf = \frac{1}{2}mv_0^2 + A$.
   B. $hf = \frac{1}{2}mv_{0max}^2 + A$.
   C. $h\frac{c}{\lambda} = \frac{1}{2}mv_{0max}^2 - A$.
   D. $h\frac{c}{\lambda} + h\frac{c}{\lambda_0} = \frac{1}{2}mv_0^2$.

4. Chiếu một chùm ánh sáng có bước sóng 400 nm vào catôt bằng natri của một tế bào quang điện. Biết giới hạn quang điện của natri là 0,50 μm, hãy tính vận tốc ban đầu cực đại của các quang êlectron.

5. Chiếu vào catôt của một tế bào quang điện một chùm ánh sáng có bước sóng 0,330 μm. Biết rằng để triệt tiêu dòng quang điện, phải đặt một hiệu điện thế hãm bằng 1,38 V giữa anôt và catôt. Hãy xác định công thoát của êlectron khỏi kim loại và giới hạn quang điện của kim loại làm catôt.

45 BÀI TẬP VỀ HIỆN TƯỢNG QUANG ĐIỆN

Bài tập 1

Chiếu một chùm ánh sáng có bước sóng $\lambda = 0,489\ \mu m$ lên một tấm kim loại kali dùng làm catôt của một tế bào quang điện. Biết công thoát êlectron của kali là 2,15 eV.

a) Tính giới hạn quang điện của kali.

b) Tính vận tốc ban đầu cực đại của quang êlectron bắn ra từ catôt.

c) Tính hiệu điện thế hãm.

d) Biết cường độ dòng quang điện bão hoà $I_{bh} = 5$ mA và công suất của chùm ánh sáng chiếu vào catôt là $\mathscr{P} = 1,25$ W, hãy tính hiệu suất lượng tử (tỉ số giữa số quang êlectron bứt ra khỏi mặt kim loại và số phôtôn tới mặt kim loại).

Bài giải

a) Ta có $\lambda_0 = \dfrac{hc}{A}$.

Biết $h = 6,625.10^{-34}$ J.s ; $c = 3.10^8$ m/s ; $A = 2,15$ eV $= 3,44.10^{-19}$ J.

Từ đó, tính được : $\lambda_0 \approx 0,578\ \mu m$.

b) Áp dụng công thức Anh-xtanh : $\dfrac{hc}{\lambda} = A + \dfrac{mv_{0max}^2}{2}$, ta có :

$$v_{0max} = \sqrt{\frac{2}{m}\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)}$$

Thay số ($m = 9,1.10^{-31}$ kg ; $\lambda = 0,489.10^{-6}$ m), ta được $v_{0max} \approx 3,7.10^5$ m/s.

c) Ta có : $eU_h = \dfrac{mv_{0max}^2}{2} = \dfrac{hc}{\lambda} - A$, từ đó :

$$U_h = \frac{1}{e}\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)$$

Thay số ($e = 1,6.10^{-19}$ C), ta được : $U_h = 0,39$ V.

d) Năng lượng mỗi phôtôn là :

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} \approx 4,06.10^{-19}\ \text{J}$$

Số hạt phôtôn tới catôt mỗi giây :

$$N = \frac{\mathscr{P}}{\varepsilon} \approx 3,08.10^{18}\ \text{hạt}$$

Cường độ dòng quang điện bão hoà $I_{bh} = ne$, với n là số quang êlectron bứt ra khỏi mặt kim loại và chuyển về anôt trong một đơn vị thời gian. Từ đó :

$$n = \frac{I_{bh}}{e} \approx 3,12.10^{16} \text{ hạt}$$

Hiệu suất lượng tử :

$$H = \frac{n}{N} \approx 10^{-2} = 1\%$$

Bài tập 2

Khi chiếu vào một tấm kim loại một chùm sáng đơn sắc có bước sóng 0,20 μm, động năng ban đầu cực đại của các quang êlectron là 8.10^{-19} J. Hỏi khi chiếu vào tấm kim loại đó lần lượt hai chùm sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda_1 = 1,40$ μm và $\lambda_2 = 0,10$ μm, thì có xảy ra hiện tượng quang điện không ? Nếu có, hãy xác định vận tốc ban đầu cực đại của các quang êlectron.

Bài giải

Áp dụng công thức Anh-xtanh, ta có :

$$A = \frac{hc}{\lambda} - \frac{1}{2}mv_{0max}^2$$

Thay số, ta được : $A = 1,94.10^{-19}$ J.

Giới hạn quang điện của tấm kim loại :

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} \approx 1,02.10^{-6} \text{ m} \approx 1,02 \text{ μm}$$

Muốn có hiện tượng quang điện xảy ra, bước sóng λ của ánh sáng kích thích phải thoả mãn điều kiện $\lambda \leq \lambda_0$. Do đó :

– Với λ_1 thì $\lambda_1 > \lambda_0$ nên hiện tượng quang điện không xảy ra ;

– Với λ_2 thì $\lambda_2 < \lambda_0$ nên hiện tượng quang điện xảy ra. Khi đó, động năng ban đầu cực đại của quang êlectron bắn ra là :

$$\frac{mv_{0max}^2}{2} = \frac{hc}{\lambda_2} - A \approx 1,79.10^{-18} \text{ J}$$

Từ đó : $v_{0max} \approx 1,98.10^6$ m/s.

Bài tập 3

Công thoát êlectron khỏi đồng là 4,47 eV.

a) Tính giới hạn quang điện của đồng.

b) Khi chiếu bức xạ có bước sóng $\lambda = 0,14$ μm vào một quả cầu bằng đồng đặt xa các vật khác thì quả cầu được tích điện đến điện thế cực đại là bao nhiêu ? Vận tốc ban đầu cực đại của quang êlectron là bao nhiêu ?

c) Chiếu một bức xạ điện từ vào một quả cầu bằng đồng đặt xa các vật khác thì quả cầu đạt được điện thế cực đại 3 V. Hãy tính bước sóng của bức xạ và vận tốc ban đầu cực đại của quang êlectron ?

Bài giải

a) Giới hạn quang điện của đồng :

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} = \frac{6,625.10^{-34}.3.10^8}{4,47.1,6.10^{-19}} \approx 0,278.10^{-6}\text{m} \approx 278 \text{ nm}.$$

b) Áp dụng công thức Anh-xtanh, ta có :

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv_{0max}^2}{2}$$

$$\frac{mv_{0max}^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A \approx 7,044.10^{-19} \text{ J}$$

$$v_{0max} = \sqrt{\frac{2}{m}\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)} \approx 1,244.10^6 \text{ m/s}$$

Ban đầu, quả cầu chưa tích điện. Khi chiếu bức xạ có bước sóng λ vào quả cầu thì êlectron bị bứt ra khỏi mặt quả cầu và quả cầu tích điện dương, quả cầu có một điện thế. Số êlectron bị bứt ra khỏi mặt quả cầu ngày càng nhiều, điện thế của quả cầu tăng dần và khi điện thế quả cầu đạt tới giá trị V_m thì các êlectron vừa mới bứt ra thêm, lại bị hút trở lại quả cầu, và điện thế của quả cầu không tăng nữa. Vậy giá trị cực đại V_m của điện thế quả cầu chính là hiệu điện thế hãm trong tế bào quang điện. Do đó, ta có :

$$eV_m = eU_h = \frac{mv_{0max}^2}{2}$$

Từ đó, suy ra : $V_m = \frac{1}{e} \cdot \frac{mv_{0max}^2}{2} = \frac{7,044.10^{-19}}{1,6.10^{-19}} \approx 4,40 \text{ V}.$

c) Theo trên, ta có : $eV_m = \frac{mv_{0max}^2}{2}$, ở đây $V_m = 3$ V.

Từ đó : $v_{0max} = \sqrt{\frac{2eV_m}{m}} \approx 1,03.10^6 \text{ m/s}.$

Áp dụng công thức Anh-xtanh : $\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv_{0max}^2}{2} = A + eV_m$, suy ra :

$$\lambda = \frac{hc}{A + eV_m} = \frac{6,625.10^{-34}.3.10^8}{(4,47 + 3).1,6.10^{-19}} \approx 0,166.10^{-6} \text{ m} \approx 166 \text{ nm}$$

46 HIỆN TƯỢNG QUANG ĐIỆN TRONG QUANG ĐIỆN TRỞ VÀ PIN QUANG ĐIỆN

Pin Mặt Trời cung cấp điện năng cho Trạm Nghiên cứu vũ trụ quốc tế ISS hoạt động dựa trên hiện tượng nào ?

1. Hiện tượng quang điện trong

a) Hiện tượng quang điện trong

Khi bán dẫn tinh khiết được chiếu bằng chùm ánh sáng có bước sóng thích hợp, thì một số êlectron liên kết trong bán dẫn có thể bứt ra khỏi các nguyên tử bán dẫn và chuyển động tự do trong khối bán dẫn đó. Đồng thời, có một số lượng như vậy các lỗ trống được tạo ra và tham gia vào quá trình dẫn điện.

Hiện tượng tạo thành các êlectron dẫn và lỗ trống trong bán dẫn, do tác dụng của ánh sáng có bước sóng thích hợp, gọi là hiện tượng quang điện trong (để phân biệt với hiện tượng quang điện ngoài đã xét ở Bài 43).

C1 Nêu những điểm giống nhau và khác nhau giữa hiện tượng quang điện trong và hiện tượng quang điện ngoài đã xét ở Bài 43.

Muốn gây được hiện tượng quang điện trong thì ánh sáng kích thích phải có bước sóng nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị λ_0, gọi là *giới hạn quang điện của bán dẫn*.

Một mẫu CdS có điện trở khoảng $3.10^6\ \Omega$ khi không được chiếu sáng, sẽ có điện trở khoảng $20\ \Omega$ khi được chiếu sáng.

Vì năng lượng cần thiết để giải phóng êlectron liên kết trong bán dẫn thường nhỏ hơn công thoát *A* của êlectron từ mặt kim loại, nên giới hạn quang điện của nhiều bán dẫn nằm trong vùng ánh sáng hồng ngoại. Chẳng hạn với Ge thì $\lambda_0 = 1,88\ \mu m$; với Si : $\lambda_0 = 1,11\ \mu m$; với CdS : $\lambda_0 = 0,90\ \mu m$.

Vật liệu có tính quang dẫn được sử dụng rất rộng rãi để phát hiện tia hồng ngoại, hoặc dùng trong các rơle điều khiển bằng tia hồng ngoại như thiết bị báo cháy, bộ điều khiển từ xa ở máy thu hình,...

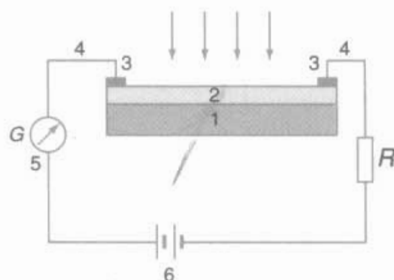
b) Hiện tượng quang dẫn

Ta đã biết (SGK Vật lí 11 nâng cao), điện trở suất

Bảng 46.1

Giới hạn quang điện của một số bán dẫn

Chất	λ_0 (μm)
Ge	1,88
Si	1,11
PbS	4,14
CdS	0,90
PbSe	5,65



Hình 46.1 Mạch điện dùng quang điện trở.

Người ta phủ lên trên đế cách điện (1) (bằng thuỷ tinh hay bằng chất dẻo) một lớp bán dẫn mỏng (2), bề dày chừng 20 ÷ 30 μm (như chì sunfua hay cađimi sunfua). Từ hai đầu của lớp bán dẫn, người ta làm các điện cực (3) bằng kim loại và dẫn ra ngoài bằng các dây dẫn (4) ; mạch ngoài nối với điện kế (5), một điện trở tải *R* và nguồn điện (6).

Khi cường độ ánh sáng chiếu vào quang điện trở thay đổi, thì cường độ dòng điện trong mạch cũng thay đổi và hiệu điện thế hai đầu điện trở tải *R* cũng thay đổi, phù hợp với sự biến thiên của cường độ ánh sáng.

của bán dẫn, như Si, Ge, Se, CdS, PbS..., giảm đi khi bị ánh sáng thích hợp chiếu vào.

Hiện tượng giảm điện trở suất, tức là tăng độ dẫn điện của bán dẫn, khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào gọi là hiện tượng quang dẫn.

Hiện tượng quang dẫn được giải thích dựa trên hiện tượng quang điện trong. Khi bán dẫn được chiếu bằng chùm ánh sáng có *bước sóng thích hợp*, thì trong bán dẫn có thêm êlectron dẫn và lỗ trống được tạo thành. Do đó, mật độ hạt tải điện trong bán dẫn tăng, độ dẫn điện của bán dẫn tăng, tức là điện trở suất của nó giảm. Cường độ ánh sáng chiếu vào bán dẫn càng mạnh thì điện trở suất của nó càng nhỏ.

Người ta thường nói các bán dẫn có *tính quang dẫn.*

2. Quang điện trở

Quang điện trở được chế tạo dựa trên hiệu ứng quang điện trong. Đó là một tấm bán dẫn có giá trị điện trở thay đổi khi cường độ chùm sáng chiếu vào nó thay đổi.

Sơ đồ một mạch điện dùng quang điện trở được vẽ trên Hình 46.1.

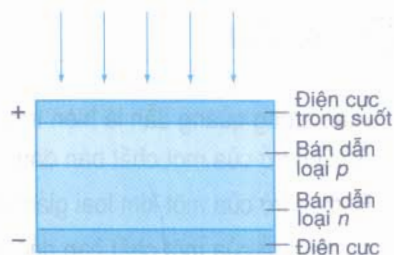
Khi trên lớp bán dẫn chưa có ánh sáng rọi vào, trong mạch có một dòng điện nhỏ gọi là dòng tối. Nó phụ thuộc vào điện trở thuần của quang điện trở và vào hiệu điện thế đặt vào hai điện cực. Khi ta rọi sáng lớp bán dẫn, cường độ dòng điện qua nó phụ thuộc cường độ chùm sáng và hiệu điện thế giữa hai điện cực.

Quang điện trở thường được lắp với các mạch khuếch đại trong các thiết bị điều khiển bằng ánh sáng, trong các máy đo ánh sáng.

3. Pin quang điện

Pin quang điện là nguồn điện, trong đó quang năng được biến đổi trực tiếp thành điện năng. Hoạt

động của pin dựa trên hiện tượng quang điện trong của một số chất bán dẫn như đồng ôxit, sêlen, silic,...



Hình 46.2 Sơ đồ cấu tạo pin quang điện.

Cấu tạo của pin quang điện gồm một tấm bán dẫn loại *n*, bên trên có phủ một lớp mỏng bán dẫn loại *p*. Mặt trên cùng là một lớp kim loại mỏng trong suốt với ánh sáng và dưới cùng là một đế kim loại (Hình 46.2). Các lớp kim loại này đóng vai trò các điện cực. Lớp tiếp xúc *p – n* được hình thành giữa hai bán dẫn.

Khi ánh sáng có bước sóng thích hợp ($\lambda \leq \lambda_0$) chiếu vào lớp kim loại mỏng ở trên cùng thì ánh sáng sẽ đi xuyên qua lớp này vào lớp bán dẫn loại *p*, gây ra hiện tượng quang điện trong và giải phóng ra các cặp êlectron và lỗ trống. Điện trường ở lớp chuyển tiếp *p – n* đẩy các lỗ trống về phía bán dẫn loại *p* và đẩy các êlectron về phía bán dẫn loại *n*. Do đó, lớp kim loại mỏng trên lớp bán dẫn loại *p* sẽ nhiễm điện dương và trở thành điện cực dương của pin, còn đế kim loại dưới bán dẫn loại *n* sẽ nhiễm điện âm và trở thành điện cực âm (Hình 46.2). Suất điện động của pin quang điện thường có giá trị từ 0,5 V đến 0,8 V.



Hình 46.3 *Ảnh một ngôi nhà được cấp điện bằng những tấm pin Mặt Trời chế tạo từ bán dẫn silic, đặt trên mái nhà.*

Pin quang điện đã trở thành nguồn cung cấp điện năng cho các vùng sâu, vùng xa ở nước ta, trên các vệ tinh nhân tạo, con tàu vũ trụ, trong các máy đo ánh sáng, máy tính bỏ túi,...

CÂU HỎI

1. Thế nào là hiện tượng quang điện trong, hiện tượng quang dẫn ?
2. Tại sao tia hồng ngoại chỉ có thể gây ra được hiện tượng quang điện trong, còn tia tử ngoại mới gây ra được hiện tượng quang điện ngoài ?
3. Quang điện trở là gì ?
4. Giải thích vắn tắt nguyên tắc hoạt động của pin quang điện.



BÀI TẬP

1. Hiện tượng quang dẫn là hiện tượng

   A. điện trở của một chất bán dẫn tăng khi được chiếu sáng.

   B. điện trở của một kim loại giảm khi được chiếu sáng.

   C. điện trở của một chất bán dẫn giảm khi được chiếu sáng.

   D. truyền dẫn ánh sáng theo các sợi quang uốn cong một cách bất kì.

2. Theo định nghĩa, hiện tượng quang điện trong là

   A. hiện tượng quang điện xảy ra ở bên trong một khối kim loại.

   B. hiện tượng quang điện xảy ra ở bên trong một khối điện môi.

   C. nguyên nhân sinh ra hiện tượng quang dẫn.

   D. sự giải phóng các êlectron liên kết để chúng trở thành êlectron dẫn nhờ tác dụng của một bức xạ điện từ.

3. Pin quang điện là nguồn điện, trong đó

   A. quang năng được biến đổi trực tiếp thành điện năng.

   B. năng lượng Mặt Trời được biến đổi toàn bộ thành điện năng.

   C. một tế bào quang điện được dùng làm máy phát điện.

   D. một quang điện trở, khi được chiếu sáng, thì trở thành một máy phát điện.

47 MẪU NGUYÊN TỬ BO VÀ QUANG PHỔ VẠCH CỦA NGUYÊN TỬ HIĐRÔ

Quang phổ vạch của nguyên tử hiđrô được giải thích như thế nào ?

1. Mẫu nguyên tử Bo

Năm 1913, khi vận dụng thuyết lượng tử để giải thích sự tạo thành quang phổ của nguyên tố đơn giản nhất là hiđrô, nhà vật lí Bo đã bổ sung vào mẫu hành tinh nguyên tử của Rơ-dơ-pho hai giả thuyết sau đây, về sau được gọi là *các tiên đề của Bo*.

a) Tiên đề về trạng thái dừng

Nguyên tử chỉ tồn tại trong một số trạng thái có năng lượng xác định E_n, gọi là các trạng thái dừng. Khi ở trạng thái dừng, nguyên tử không bức xạ.

Bình thường, nguyên tử ở trạng thái dừng có năng lượng thấp nhất gọi là *trạng thái cơ bản*. Khi hấp thụ năng lượng thì nguyên tử chuyển lên các trạng thái dừng có năng lượng cao hơn, gọi là *trạng thái kích thích*. Thời gian sống trung bình của nguyên tử trong các trạng thái kích thích rất ngắn (chỉ vào cỡ 10^{-8} s). Sau đó nguyên tử chuyển về các trạng thái dừng có năng lượng thấp hơn, và cuối cùng về trạng thái cơ bản.

Trong các trạng thái dừng của nguyên tử, êlectron chuyển động quanh hạt nhân trên các quỹ đạo có bán kính hoàn toàn xác định, gọi là các *quỹ đạo dừng*.

Bo đã tìm được công thức tính bán kính của quỹ đạo dừng của êlectron trong nguyên tử hiđrô :

$$r_n = n^2 r_0 \qquad (47.1)$$



BO
(Niels Bohr, 1885 – 1962, nhà vật lí người Đan Mạch, giải Nô-ben năm 1922)

Năm 1911, dựa vào kết quả thí nghiệm dùng hạt α bắn phá các lá kim loại mỏng, Rơ-dơ-pho (Ernest Rutherford, 1871 – 1937, nhà vật lí người Anh, giải Nô-ben năm 1908) đã xây dựng một mẫu nguyên tử, gọi là *mẫu hành tinh*, có nội dung như sau : *Ở tâm nguyên tử có một hạt nhân mang điện dương, xung quanh hạt nhân có các êlectron mang điện âm chuyển động giống như các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời.* Nhưng mẫu này đã không giải thích được tính bền vững của nguyên tử và sự xuất hiện quang phổ vạch của nguyên tử.

với n là số nguyên và $r_0 = 5,3.10^{-11}$ m, gọi là *bán kính Bo*. Đó chính là bán kính của quỹ đạo êlectron, ứng với trạng thái cơ bản của nguyên tử.

Người ta đặt tên cho các quỹ đạo dừng của êlectron ứng với n khác nhau như sau :

n	1	2	3	4	5	6 ...
Tên	K	L	M	N	O	P ...



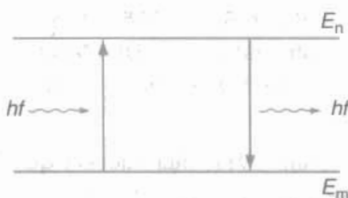
b) Tiên đề về sự bức xạ và hấp thụ năng lượng của nguyên tử

Khi nguyên tử chuyển từ trạng thái dừng có năng lượng E_n sang trạng thái dừng có năng lượng E_m nhỏ hơn thì nguyên tử phát ra một phôtôn có năng lượng đúng bằng hiệu $E_n - E_m$.

$$E_n - E_m = hf \qquad (47.2)$$

(h là hằng số Plăng ; n, m là những số nguyên).

Ngược lại, nếu nguyên tử đang ở trạng thái dừng có năng lượng E_m mà hấp thụ được một phôtôn có năng lượng hf đúng bằng hiệu $E_n - E_m$ thì nó chuyển sang trạng thái dừng có năng lượng E_n lớn hơn.



Hình 47.1 Sự chuyển mức năng lượng khi hấp thụ và khi phát phôtôn.

Tiên đề này cho thấy, nếu một nguyên tử hấp thụ được một phôtôn có năng lượng hf đúng bằng hiệu $E_n - E_m$ thì nó chuyển lên trạng thái dừng có năng lượng cao E_n (Hình 47.1). Điều này giải thích được sự đảo vạch quang phổ (Bài 39).

Sự phát và hấp thụ phôtôn bởi nguyên tử được biểu diễn trên sơ đồ ở Hình 47.1, trong đó các đường nằm ngang, có ghi các kí hiệu E_n, E_m ở bên cạnh, biểu diễn các trạng thái dừng của nguyên tử có năng lượng E_n, E_m ; các đường này gọi là các *mức năng lượng*. Sự chuyển mức năng lượng được biểu thị bằng mũi tên.



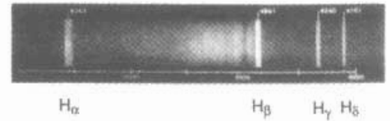
BAN-ME
(Johann Jakob Balmer, 1825 – 1898, nhà vật lí người Thuỵ Sĩ)

Sự chuyển từ trạng thái dừng E_m sang trạng thái dừng E_n ứng với sự nhảy của êlectron từ quỹ đạo dừng có bán kính r_m sang quỹ đạo dừng có bán kính r_n và ngược lại.

2. Quang phổ vạch của nguyên tử hiđrô

a) Khi khảo sát thực nghiệm quang phổ của nguyên tử hiđrô, người ta thấy các vạch phát xạ của nguyên tử hiđrô sắp xếp thành các dãy khác nhau.

Trong miền tử ngoại có một dãy, gọi là *dãy Lai-man* (Lyman). Dãy thứ hai, gọi là *dãy Ban-me* (Balmer), gồm các vạch nằm trong miền tử ngoại và một số vạch nằm trong miền ánh sáng nhìn thấy là : vạch đỏ H_α ($\lambda_\alpha = 0,6563\ \mu m$), vạch lam H_β ($\lambda_\beta = 0,4861\ \mu m$), vạch chàm H_γ ($\lambda_\gamma = 0,4340\ \mu m$) và vạch tím H_δ ($\lambda_\delta = 0,4120\ \mu m$) (Hình 47.2). Trong miền hồng ngoại có dãy gọi là *dãy Pa-sen* (Paschen).



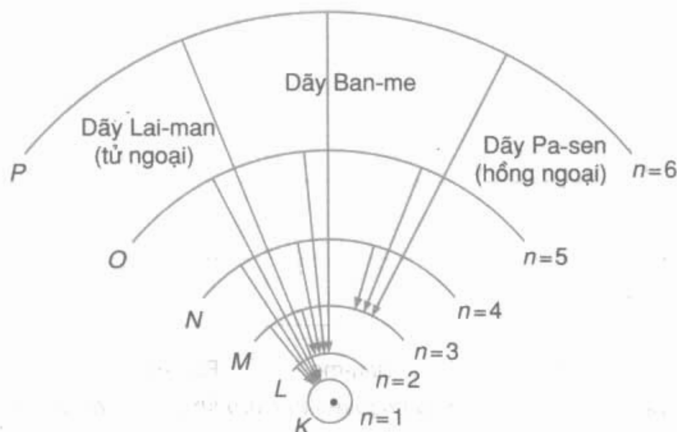
Hình 47.2 Vị trí các vạch trong dãy Ban-me trên nền quang phổ liên tục.

Trong một ống phóng điện, dù nhỏ, cũng có hàng tỉ tỉ nguyên tử khí ; một số nguyên tử thì phát vạch quang phổ này, một số khác lại phát vạch khác. Nhờ đó cùng một lúc, ta thu được nhiều dãy vạch, mỗi dãy lại có nhiều vạch.

C1 Tính năng lượng của phôtôn ứng với vạch lam H_β.

b) Mẫu nguyên tử Bo giải thích được cấu trúc quang phổ vạch của hiđrô cả về định tính lẫn định lượng.

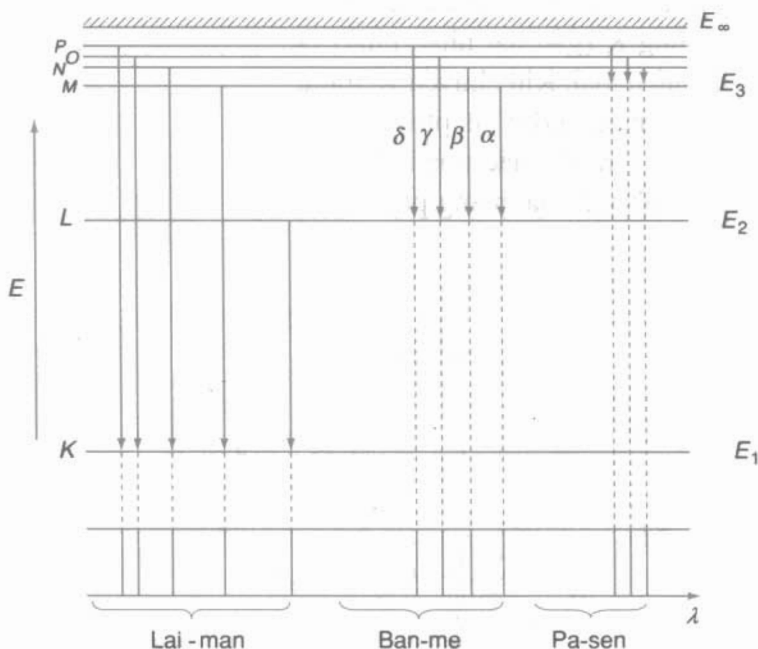
Khi nhận được năng lượng kích thích, các nguyên tử hiđrô chuyển từ trạng thái cơ bản E_1 lên các trạng thái kích thích khác nhau, tức là êlectron chuyển từ quỹ đạo dừng K (gần hạt nhân nhất) ra các quỹ đạo dừng ở phía ngoài. Khi chuyển về trạng thái cơ bản, các nguyên tử hiđrô sẽ phát ra các phôtôn (các bức xạ) có tần số khác nhau. Vì vậy quang phổ của nguyên tử hiđrô là quang phổ vạch.



Hình 47.3 Sơ đồ chuyển êlectron từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác khi tạo thành các dãy quang phổ của hiđrô (vẽ phỏng chừng độ dài các bán kính).

Dãy Lai-man được tạo thành khi êlectron chuyển từ các quỹ đạo dừng bên ngoài về quỹ đạo K (Hình 47.3) : $L \rightarrow K$; $M \rightarrow K$; $N \rightarrow K$... Dãy Ban-me được tạo thành khi êlectron từ các quỹ đạo ở phía ngoài chuyển về quỹ đạo L : $M \rightarrow L$ (vạch đỏ H_α) ; $N \rightarrow L$ (vạch lam H_β) ; $O \rightarrow L$ (vạch chàm H_γ) ; $P \rightarrow L$ (vạch tím H_δ)... Dãy Pa-sen được tạo thành khi êlectron từ các quỹ đạo ở phía ngoài chuyển về quỹ đạo M... Kết quả tính toán bước sóng của bốn vạch nhìn thấy H_α, H_β, H_γ và H_δ của quang phổ vạch của hiđrô trùng hợp với các kết quả thực nghiệm.

Sơ đồ chuyển mức năng lượng của nguyên tử hiđrô khi tạo thành các dãy quang phổ được biểu diễn trên Hình 47.4.



Hình 47.4 Sơ đồ chuyển mức năng lượng của nguyên tử hiđrô khi tạo thành các dãy quang phổ.

CÂU HỎI

1. Trình bày hai tiên đề của Bo.
2. Mô tả quang phổ vạch của hiđrô và giải thích sự tạo thành các dãy quang phổ.

BÀI TẬP

1. Trạng thái dừng của một nguyên tử là

A. trạng thái đứng yên của nguyên tử.

B. trạng thái chuyển động đều của nguyên tử.

C. trạng thái trong đó mọi êlectron của nguyên tử đều không chuyển động đối với hạt nhân.

D. một trong số các trạng thái có năng lượng xác định, mà nguyên tử có thể tồn tại.

2. Ở trạng thái dừng, nguyên tử

A. không bức xạ và không hấp thụ năng lượng.

B. không bức xạ, nhưng có thể hấp thụ năng lượng.

C. không hấp thụ, nhưng có thể bức xạ năng lượng.

D. vẫn có thể hấp thụ và bức xạ năng lượng.

3. Dãy Ban-me ứng với sự chuyển êlectron từ quỹ đạo ở xa hạt nhân về quỹ đạo nào sau đây ?

A. Quỹ đạo *K*. B. Quỹ đạo *L*.

C. Quỹ đạo *M*. D. Quỹ đạo *N*.

4. Bước sóng của vạch quang phổ thứ nhất trong dãy Lai-man là λ_0 = 122 nm, của hai vạch H_α, H_β lần lượt là λ_1 = 0,656 μm và λ_2 = 0,486 μm. Hãy tính bước sóng hai vạch tiếp theo trong dãy Lai-man và vạch đầu tiên trong dãy Pa-sen.

48 HẤP THỤ VÀ PHẢN XẠ LỌC LỰA ÁNH SÁNG MÀU SẮC CÁC VẬT

Khi nhìn ánh sáng Mặt Trời chiếu xuyên qua tấm kính đỏ, ta thấy tấm kính có màu đỏ. Tại sao vậy ?

1. Hấp thụ ánh sáng

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, khi một chùm ánh sáng đi qua một môi trường vật chất bất kì, thì cường độ chùm sáng bị giảm. Một phần năng lượng của chùm sáng đã bị hấp thụ và biến thành nội năng của môi trường.

Thực nghiệm chứng tỏ, khi truyền trong chân không, chùm sáng hoàn toàn không bị hấp thụ. Điều đó chứng tỏ chính sự tương tác giữa ánh sáng với các nguyên tử (hay phân tử) cấu tạo nên môi trường đã gây ra hiện tượng hấp thụ ánh sáng.

Hấp thụ ánh sáng là hiện tượng môi trường vật chất làm giảm cường độ của chùm sáng truyền qua nó.

a) Định luật về sự hấp thụ ánh sáng

Việc khảo sát định lượng sự hấp thụ ánh sáng đã cho thấy :

Cường độ I của chùm sáng đơn sắc, khi truyền qua môi trường hấp thụ, giảm theo định luật hàm mũ của độ dài d của đường đi tia sáng :

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \qquad (48.1)$$

với I_0 là cường độ của chùm sáng tới môi trường, α được gọi là hệ số hấp thụ của môi trường.

Cường độ của một chùm sáng được xác định bằng lượng quang năng mà chùm sáng tải qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với tia sáng trong một giây. Đơn vị của cường độ sáng là oát trên mét vuông.

b) Hấp thụ lọc lựa

Ta đã biết (Bài 39), khi cho chùm ánh sáng trắng đi qua một chất nào đó, ta quan sát thấy quang phổ hấp thụ (vạch hấp thụ hay đám hấp thụ), trên quang phổ của ánh sáng trắng mất đi một số vạch ứng với các bước sóng đặc trưng cho chất đang xét.

C1 Khi cho chùm sáng trắng đi qua ống thuỷ tinh có khí hiđrô nung nóng vào máy quang phổ thì ta thu được quang phổ như thế nào ?

Điều đó chứng tỏ, các ánh sáng có bước sóng khác nhau thì bị môi trường hấp thụ nhiều, ít khác nhau. Nói cách khác, sự hấp thụ ánh sáng của một môi trường có tính chọn lọc, *hệ số hấp thụ của môi trường phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng.*

Mọi chất đều hấp thụ có chọn lọc ánh sáng. Những chất hầu như không hấp thụ ánh sáng trong miền nào của quang phổ được gọi là gần *trong suốt* với miền quang phổ đó.

Cần lưu ý rằng thuỷ tinh không màu hấp thụ mạnh tia tử ngoại.

Những vật không hấp thụ ánh sáng trong miền nhìn thấy của quang phổ được gọi là *vật trong suốt không màu* (chẳng hạn, nước nguyên chất, không khí, thuỷ tinh không màu...). Những vật hấp thụ hoàn toàn mọi ánh sáng nhìn thấy thì có màu đen.

C2 Nhìn Mặt Trời qua tấm kính đỏ (kính lọc sắc đỏ), ta thấy tấm kính có màu đỏ. Giải thích tại sao.

Những vật hấp thụ lọc lựa ánh sáng trong miền nhìn thấy thì được gọi là *vật trong suốt có màu*.

2. Phản xạ (hoặc tán xạ) lọc lựa. Màu sắc các vật

Ở một số vật, khả năng phản xạ (hoặc tán xạ) ánh sáng mạnh, yếu khác nhau phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng tới. Có những vật phản xạ (hoặc tán xạ) mạnh các ánh sáng có bước sóng dài, nhưng lại phản xạ (hoặc tán xạ) yếu các ánh sáng có bước sóng ngắn, chẳng hạn một tấm đồng có mặt đánh bóng (xem Bảng 48.1). Đó là sự *phản xạ* (hoặc *tán xạ*) *lọc lựa*.

Bảng 48.1

Tỉ lệ phần trăm cường độ ánh sáng tới bị phản xạ từ mặt đánh bóng của tấm đồng.

Bước sóng (nm)	Tỉ lệ %
357	27
500	44
600	72
700	83
800	89
1 000	90

Khi chiếu một chùm sáng trắng vào một vật, thì do vật có khả năng phản xạ (hoặc tán xạ) lọc lựa, nên ánh sáng phản xạ (hoặc tán xạ) là ánh sáng màu. Điều đó giải thích tại sao các vật có màu sắc khác nhau.

Các vật thể khác nhau có màu sắc khác nhau là do chúng được cấu tạo từ những vật liệu khác nhau. Khi ta chiếu ánh sáng trắng vào vật, vật hấp thụ một số ánh sáng đơn sắc và phản xạ, tán xạ, hoặc cho truyền qua các ánh sáng đơn sắc khác. Tấm gỗ sơn màu đỏ hấp thụ ánh sáng màu lam lục và tán xạ ánh sáng màu đỏ. Do đó, nếu chiếu một chùm ánh sáng trắng vào tấm gỗ đó thì ta thấy nó có màu đỏ của

tấm gỗ. Nhưng nếu chiếu vào tấm gỗ đó một chùm ánh sáng lam hoặc tím thì nó hấp thụ hoàn toàn chùm ánh sáng đó và nó trở thành có màu đen. Vậy, màu sắc các vật còn phụ thuộc màu sắc của ánh sáng rọi vào nó và khi nói một vật có màu này hay màu khác, ta đã giả định nó được chiếu sáng bằng chùm ánh sáng trắng.

CÂU HỎI

1. Hiện tượng hấp thụ ánh sáng là gì ? Phát biểu định luật hấp thụ ánh sáng.
2. Thế nào là sự hấp thụ lọc lựa ? Nêu ví dụ.
3. Thế nào là sự phản xạ lọc lựa ? Nêu ví dụ.

BÀI TẬP

1. Cường độ của chùm sáng đơn sắc truyền qua môi trường hấp thụ

   A. giảm tỉ lệ với độ dài đường đi của tia sáng.

   B. giảm tỉ lệ với bình phương độ dài đường đi của tia sáng.

   C. giảm theo định luật hàm mũ của độ dài đường đi của tia sáng.

   D. giảm theo tỉ lệ nghịch với độ dài đường đi của tia sáng.

2. Khi chiếu vào tấm bìa đỏ chùm ánh sáng tím, ta thấy tấm bìa có màu

   A. tím. B. đỏ.

   C. vàng. D. đen.



SỰ PHÁT QUANG SƠ LƯỢC VỀ LAZE

1. Hiện tượng phát quang

a) Sự phát quang

• Sự phát quang là một dạng phát ánh sáng rất phổ biến trong tự nhiên. Có một số chất (ở thể rắn, lỏng, hoặc khí) khi hấp thụ năng lượng dưới một dạng nào đó, thì có khả năng phát ra các bức xạ điện từ trong miền ánh sáng nhìn thấy. Các hiện tượng đó được gọi là *sự phát quang*.

C1 Căn cứ vào các đặc điểm của sự phát quang thì sự phản xạ, sự bức xạ nhiệt (bức xạ do vật bị đốt nóng) có phải là sự phát quang hay không ?

Sự phát sáng của đom đóm, sự phát sáng của phôtpho bị ôxi hoá trong không khí, sự phát sáng của một số chất hơi và chất rắn khi được chiếu sáng bằng tia tử ngoại... là những ví dụ điển hình về sự phát quang.

• Sự phát quang có nhiều đặc điểm khác biệt với các hiện tượng phát ánh sáng khác, trong số đó phải kể đến hai đặc điểm quan trọng :

– Một là, bức xạ phát quang là bức xạ riêng của vật : *mỗi chất phát quang có một quang phổ đặc trưng cho nó*.

– Hai là, *sau khi ngừng kích thích, sự phát quang của một số chất còn tiếp tục kéo dài thêm một khoảng thời gian nào đó*, rồi mới ngừng hẳn. Khoảng thời gian từ lúc ngừng kích thích cho đến lúc ngừng phát quang gọi là *thời gian phát quang*. Tuỳ theo chất phát quang mà thời gian phát quang có thể kéo dài từ 10^{-10} s đến vài ngày.

Sự phát quang xảy ra ở nhiệt độ bình thường.

b) Các dạng quang phát quang : lân quang và huỳnh quang

Một số chất có khả năng hấp thụ ánh sáng kích thích có bước sóng này để phát ra ánh sáng có bước sóng khác. Hiện tượng đó gọi là *hiện tượng quang phát quang*. Người ta thấy có hai loại quang phát

Ngoài hiện tượng quang phát quang còn có các hiện tượng phát quang khác, như hoá phát quang (ở con đom đóm), phát quang catôt (ở màn hình tivi), điện phát quang (ở đèn LED),...

Chất lỏng fluorexein khi được chiếu sáng bằng tia tử ngoại thì phát ánh sáng màu lục và ngừng phát sáng rất nhanh sau khi ngừng chiếu sáng.

Tinh thể kẽm sunfua khi được chiếu sáng bằng tia tử ngoại, hoặc bằng tia Rơn-ghen, thì phát ra ánh sáng nhìn thấy.

Các loại sơn vàng, xanh, đỏ... quét trên một số biển báo giao thông, hoặc ở đầu các cọc chỉ giới đường có thể là chất lân quang có thời gian phát quang kéo dài khoảng vài phần mười giây.

C2 Dựa vào thuyết phôtôn hãy giải thích tại sao $\lambda' > \lambda$.

quang, tuỳ theo thời gian phát quang : đó là huỳnh quang và lân quang.

• *Huỳnh quang* là sự phát quang có thời gian phát quang ngắn (dưới 10^{-8} s). Nghĩa là ánh sáng phát quang hầu như tắt ngay sau khi tắt ánh sáng kích thích.

• *Lân quang* là sự phát quang có thời gian phát quang dài (10^{-8} s trở lên) ; nó thường xảy ra với chất rắn. Các chất rắn phát quang loại này gọi là *chất lân quang*.

c) Định luật Xtốc về sự phát quang

Ánh sáng phát quang có bước sóng λ' dài hơn bước sóng của ánh sáng kích thích λ : $\lambda' > \lambda$.

d) Ứng dụng

Các loại hiện tượng phát quang có rất nhiều ứng dụng trong khoa học, kĩ thuật và đời sống, như sử dụng trong các đèn ống để thắp sáng, trong các màn hình của dao động kí điện tử, của tivi, máy tính, sử dụng sơn phát quang quét trên các biển báo giao thông.

2. Sơ lược về laze

Laze là thuật ngữ phiên âm từ tiếng Anh LASER, đó là từ ghép của các chữ cái đầu tiên của cụm từ tiếng Anh "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", có nghĩa là sự khuếch đại ánh sáng bằng phát xạ cảm ứng (còn gọi là phát xạ kích thích).



BA-XỐP
(Nicolai Basov, nhà vật lí người Liên Xô (cũ), một trong các nhà vật lí đã chế tạo laze đầu tiên, giải Nô-ben năm 1964)

a) Năm 1958, các nhà bác học Nga và Mĩ, nghiên cứu độc lập với nhau, đã chế tạo thành công laze đầu tiên. Đó là một loại nguồn sáng mới, phát ra chùm sáng gọi là *tia laze*, có đặc điểm khác hẳn với các chùm sáng thông thường :

– Tia laze có tính đơn sắc rất cao. Độ sai lệch tỉ đối $\frac{\Delta f}{f}$ của tần số ánh sáng do laze phát ra có thể chỉ bằng 10^{-15}.

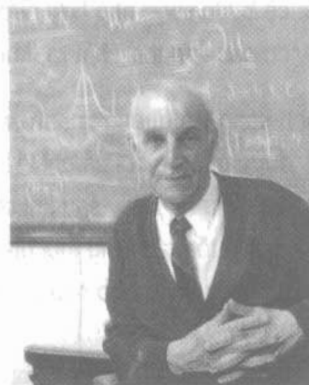
– Tia laze là chùm sáng kết hợp (các phôtôn trong chùm có cùng tần số và cùng pha).

– Tia laze là chùm sáng song song (có tính định hướng cao).

– Tia laze có cường độ lớn. Chẳng hạn, tia laze rubi (hồng ngọc) có cường độ tới 10^6 W/cm^2.

Như vậy có thể xem *laze là một nguồn sáng phát ra chùm sáng song song, kết hợp, có tính đơn sắc rất cao và có cường độ lớn.*

Nguyên tắc phát quang của laze dựa trên việc ứng dụng hiện tượng phát xạ cảm ứng (xem *Bài đọc thêm*).



KA-XLE
(Alfred Kastler, 1902 – 1984, nhà vật lí người Pháp, giải Nô-ben 1966 do các công trình nghiên cứu về laze (về bơm quang học))

b) Các loại laze

Laze được chế tạo đầu tiên là laze hồng ngọc (rubi). Ngày nay, người ta đã chế tạo được hàng chục loại laze rắn khác nhau, trong số đó có loại có công suất lớn như laze thuỷ tinh pha nêođim có thể đạt công suất 20 tỉ oát mỗi xung. Ngoài *laze rắn* còn có *laze khí* (như laze He – Ne, CO_2, Ar, N_2,...). Đặc biệt, phải kể đến các loại *laze bán dẫn* là loại được dùng phổ biến nhất hiện nay.

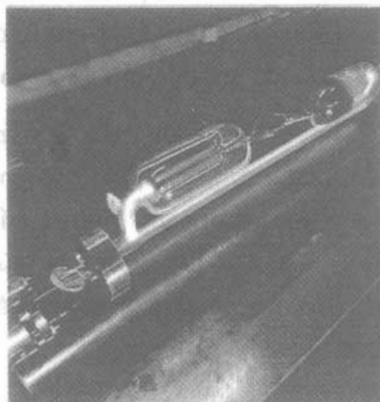
c) Một số ứng dụng của tia laze

– Tia laze có ưu thế đặc biệt trong thông tin liên lạc vô tuyến (như truyền thông tin bằng cáp quang, vô tuyến định vị, điều khiển con tàu vũ trụ,...).

– Tia laze được dùng như dao mổ trong phẫu thuật mắt, để chữa một số bệnh ngoài da (nhờ tác dụng nhiệt),...

– Tia laze được dùng trong các đầu đọc đĩa CD, bút trỏ bảng,...

– Ngoài ra, tia laze còn được dùng để khoan, cắt, tôi,... chính xác các vật liệu trong công nghiệp.



Hình 49.1 *Laze khí đang hoạt động.*

CÂU HỎI

1. Nêu một số ví dụ về hiện tượng phát quang. Phân biệt lân quang và huỳnh quang.
2. Phát biểu định luật Xtốc về sự phát quang.
3. Laze là gì ? Nêu một số ứng dụng của tia laze.

BÀI TẬP

1. Ánh sáng huỳnh quang là ánh sáng

   A. tồn tại trong thời gian dài hơn 10^{-8} s sau khi tắt ánh sáng kích thích.

   B. hầu như tắt ngay sau khi tắt ánh sáng kích thích.

C. có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ánh sáng kích thích.

D. do các tinh thể phát ra, khi được kích thích bằng ánh sáng Mặt Trời.

2. Ánh sáng lân quang là ánh sáng

A. được phát ra bởi cả chất rắn, chất lỏng lẫn chất khí.

B. hầu như tắt ngay sau khi tắt ánh sáng kích thích.

C. có thể tồn tại trong thời gian dài hơn 10^{-8} s sau khi tắt ánh sáng kích thích.

D. có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ánh sáng kích thích.

Em có biết ?

SỰ NHÌN THẤY MÀU SẮC

Mọi màu sắc mà ta nhìn thấy đều do tác dụng tổng hợp (hoà trộn) lên mắt ta của các ánh sáng đơn sắc (màu) khác nhau với cường độ khác nhau. Nói cách khác, mọi màu sắc ta nhìn thấy đều do sự "trộn màu" mà có.

Theo *lí thuyết ba màu sơ cấp* (hay ba màu cơ bản) của Y-âng, mọi ánh sáng màu đều được tạo thành từ ba ánh sáng màu sơ cấp : đỏ, lục và lam nhạt (màu lơ). Tuỳ theo tỉ lệ giữa ba thành phần cơ bản này mà có thể tạo ra các ánh sáng màu khác nhau.

Nếu trộn lẫn ("cộng") hai màu sơ cấp với nhau thì ta được một *màu thứ cấp*. Sở dĩ có tên gọi đó, vì nó là sản phẩm tạo ra từ hai màu sơ cấp. Chẳng hạn, ánh sáng đỏ trộn với ánh sáng lục, cho ta ánh sáng thứ cấp vàng (Hình 49.2).



Hình 49.2 Sự hoà trộn màu từ ba màu sơ cấp.

Ở tivi màu, ảnh màu được tạo ra theo cách "cộng" nói trên. Nếu nhìn kĩ vào mặt trước màn hình tivi, ta thấy có rất nhiều chấm cách đều nhau, sắp xếp theo từng nhóm ba chấm một. Mỗi chấm làm bằng một loại vật liệu phát ra ánh sáng khi bị kích thích bằng tia êlectron. Người ta dùng ba loại vật liệu khác nhau để tạo ra chấm màu đỏ, chấm màu lục, chấm màu lam. Bằng cách điều khiển cường độ tia êlectron chiếu vào các chấm, người ta làm cho cường độ ánh sáng phát ra từ các chấm đó biến đổi, mỗi chấm ứng với một màu sơ cấp. Vì các chấm ở gần nhau, các màu sơ cấp đó hoà trộn nhau theo cách "cộng", nên tạo ra nhiều màu. Nhờ vậy, ta có ảnh màu hiện trên màn hình tivi.



BÀI ĐỌC THÊM

CẤU TẠO VÀ HOẠT ĐỘNG CỦA LAZE

Nguyên tắc cấu tạo và hoạt động của laze dựa vào sự phát xạ cảm ứng, việc tạo ra sự đảo mật độ (môi trường hoạt tính) và hộp cộng hưởng quang học.

- *Phát xạ cảm ứng*

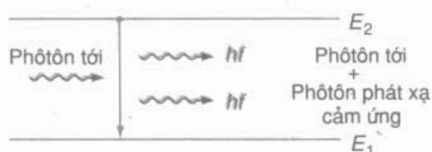
Lí thuyết về phát xạ cảm ứng (hay phát xạ kích thích) do Anh-xtanh đề xướng năm 1917, có nội dung như sau : Nếu một nguyên tử đang ở trạng thái kích thích, sẵn sàng phát ra một phôtôn có năng lượng $\varepsilon = hf$, mà bắt gặp một phôtôn có năng lượng ε' đúng bằng hf, bay lướt qua nó, thì lập tức nguyên tử đó cũng phát ra phôtôn ε, có cùng năng lượng và bay cùng phương với phôtôn ε'. Hai sóng điện từ ứng với hai phôtôn ε và ε' là hai sóng kết hợp. Nhờ đó có thể tạo ra chùm sáng song song có cường độ mạnh gồm các phôtôn kết hợp.

- *Môi trường hoạt tính*

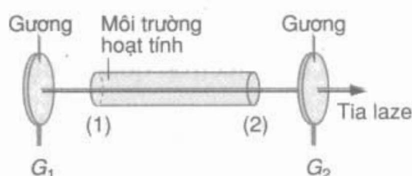
Trong điều kiện bình thường, số nguyên tử ở mức năng lượng cao E_2 (ở trạng thái kích thích) luôn có mật độ nhỏ hơn ở mức thấp E_1. Thế nhưng, trong những điều kiện đặc biệt, có thể tạo ra sự đảo mật độ, nghĩa là mức trên lại chứa nhiều nguyên tử hơn mức dưới. Môi trường có sự đảo mật độ như vậy gọi là môi trường hoạt tính. Nó có đặc điểm sau đây : Một phôtôn có tần số f gây ra bức xạ cảm ứng, cho ta hai phôtôn kết hợp có cùng tần số f (phôtôn ban đầu và phôtôn phát xạ cảm ứng) (Hình 49.3) ; hai phôtôn này lại gây ra bức xạ cảm ứng, sinh ra bốn phôtôn kết hợp... Vì mật độ nguyên tử ở mức năng lượng cao E_2 rất lớn, nên trong một thời gian ngắn, có rất nhiều nguyên tử chuyển xuống mức E_1, và do đó, số phôtôn kết hợp được tạo ra rất lớn. Kết quả là, chùm sáng không những không bị môi trường hấp thụ, mà trái lại, được khuếch đại lên.

- *Sự khuếch đại như thế lại càng được nhân lên, nếu ta làm cho các phôtôn kết hợp đi lại nhiều lần trong môi trường, bằng cách bố trí hai gương song song ở hai đầu, trong đó có một gương (gương G_2) là bán mạ (cho khoảng 50% cường độ chùm sáng tới truyền qua nó) (Hình 49.4), hình thành hộp cộng hưởng quang học, tạo ra chùm phôtôn rất mạnh cùng pha. (Khoảng cách giữa hai gương thoả mãn điều kiện cộng hưởng quang học).*

Sau khi phản xạ một số lần lên hai gương, phần lớn phôtôn sẽ đi qua gương bán mạ và tạo thành tia laze.



Hình 49.3 *Sự phát xạ cảm ứng.*



Hình 49.4 *Sơ đồ nguyên tắc cấu tạo của laze.*

TÓM TẮT CHƯƠNG VII

1. Khi một chùm ánh sáng thích hợp chiếu vào mặt một tấm kim loại thì các êlectron ở mặt kim loại bị bật ra, đó là hiện tượng quang điện ngoài, gọi tắt là hiện tượng quang điện.

2. Các định luật quang điện

a) *Định luật 1*. Hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi ánh sáng kích thích chiếu vào kim loại có bước sóng nhỏ hơn hoặc bằng bước sóng λ_0 ; λ_0 được gọi là giới hạn quang điện của kim loại đó : $\lambda \leq \lambda_0$.

b) *Định luật 2*. Đối với mỗi ánh sáng thích hợp ($\lambda \leq \lambda_0$), cường độ dòng quang điện bão hoà tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng kích thích.

c) *Định luật 3*. Động năng ban đầu cực đại của các quang êlectron không phụ thuộc cường độ của chùm sáng kích thích, mà chỉ phụ thuộc bước sóng của ánh sáng kích thích và bản chất của kim loại.

3. Thuyết lượng tử ánh sáng

Chùm ánh sáng là một chùm hạt, mỗi hạt là một phôtôn. Phôtôn có tốc độ $c = 3.10^8$ m/s, mang một năng lượng xác định $\varepsilon = hf$, chỉ phụ thuộc tần số f của ánh sáng, mà không phụ thuộc khoảng cách từ nó đến nguồn sáng. Cường độ chùm sáng tỉ lệ với số phôtôn phát ra trong một đơn vị thời gian.

4. Ánh sáng có lưỡng tính sóng – hạt. Tính chất sóng thể hiện rõ với ánh sáng và các bức xạ điện từ có bước sóng dài, còn tính chất hạt thể hiện rõ với ánh sáng có bước sóng ngắn.

5. Công thức Anh-xtanh về hiện tượng quang điện

$$hf = A + \frac{mv_{0max}^2}{2}$$

trong đó f là tần số ánh sáng, A là công thoát êlectron khỏi kim loại, v_{0max} là vận tốc ban đầu cực đại của êlectron quang điện.

6. Hiện tượng quang điện ngoài được ứng dụng trong các tế bào quang điện, trong các dụng cụ để biến đổi các tín hiệu ánh sáng thành tín hiệu điện.

7. Trong hiện tượng quang điện trong, ánh sáng giải phóng các êlectron liên kết để tạo thành các êlectron dẫn và lỗ trống tham gia quá trình dẫn điện. Hiện tượng quang dẫn là hiện tượng điện trở suất của bán dẫn giảm khi bị chiếu sáng. Hiện tượng quang điện trong và quang dẫn được ứng dụng trong các quang điện trở, pin quang điện.

8. Mẫu nguyên tử Bo

Các tiên đề của Bo.

1. Nguyên tử chỉ tồn tại trong các trạng thái dừng có năng lượng xác định. Khi ở trạng thái dừng, nguyên tử không bức xạ.

2. Khi chuyển từ trạng thái dừng có năng lượng E_n sang trạng thái dừng có năng lượng $E_m < E_n$ thì nguyên tử phát ra phôtôn có tần số f được xác định bởi :

$$E_n - E_m = hf$$

h là hằng số Plăng.

Ngược lại, nếu nguyên tử đang ở trạng thái dừng E_m mà hấp thụ được một phôtôn có tần số trên đây thì nó chuyển lên trạng thái E_n.

Mẫu nguyên tử của Bo giải thích được cấu tạo quang phổ vạch của hiđrô nhưng không giải thích được cấu tạo của các nguyên tử phức tạp hơn.

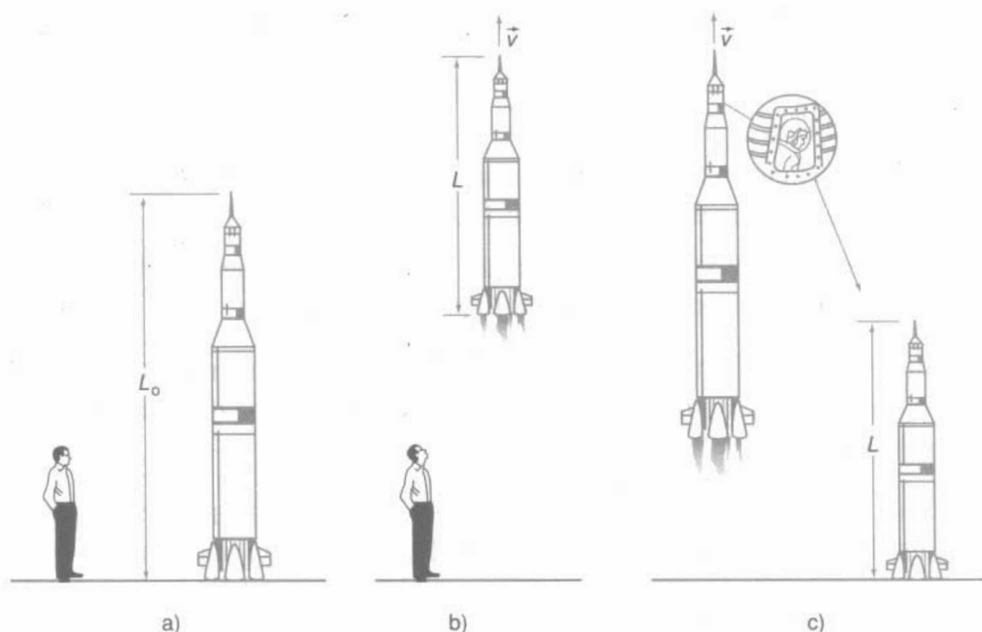
9. Màu sắc các vật phụ thuộc vào sự hấp thụ lọc lựa và phản xạ lọc lựa của vật (phản xạ lọc lựa của chất cấu tạo nên vật hoặc của lớp chất phủ lên bề mặt vật) đối với ánh sáng chiếu vào vật.

10. Trong hiện tượng quang phát quang, bước sóng của ánh sáng phát quang bao giờ cũng lớn hơn bước sóng của ánh sáng mà chất phát quang hấp thụ.

11. Tia laze là ánh sáng kết hợp, có tính đơn sắc rất cao. Chùm tia laze có tính định hướng cao, có cường độ lớn.

CHƯƠNG VIII

SƠ LƯỢC VỀ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP



Hình minh hoạ sự co độ dài của vật theo phương chuyển động.

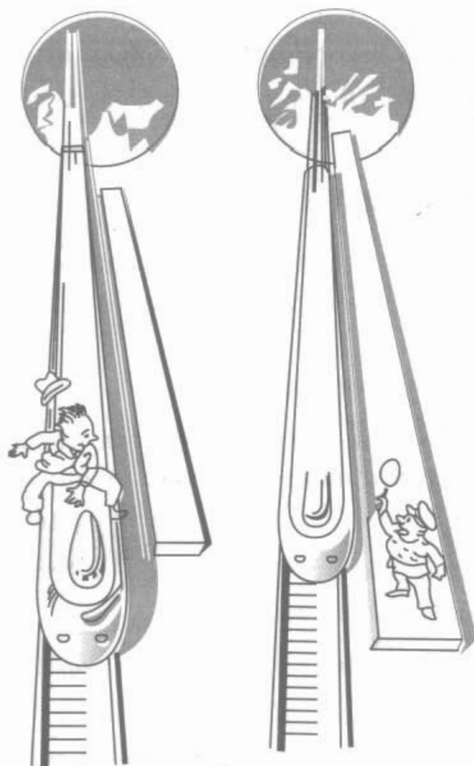
a) *Quan sát viên và tàu vũ trụ đứng yên trên mặt đất. Quan sát viên thấy tàu có độ dài L_0.*

b) *Tàu vũ trụ chuyển động với tốc độ v. Quan sát viên đứng trên mặt đất thấy tàu có độ dài* $L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$.

c) *Quan sát viên chuyển động với tốc độ v, còn tàu vũ trụ đứng yên trên mặt đất. Quan sát viên thấy tàu có độ dài* $L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$.

Chương này trình bày một số vấn đề cơ bản của thuyết tương đối hẹp, tính tương đối của không gian và thời gian, hệ thức Anh-xtanh giữa khối lượng và năng lượng.

50 THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP



Hành khách ngồi trong con tàu (do Anh-xtanh giả tưởng), chuyển động với tốc độ 240 000 km/s chạy qua sân ga, thấy độ dài sân ga co ngắn lại. Trong khi đó, quan sát viên đứng ở sân ga lại thấy độ dài con tàu co ngắn lại. Có đúng như vậy không ?

1. Hạn chế của cơ học cổ điển

Cơ học cổ điển (còn được gọi là *cơ học Niu-tơn*, do Niu-tơn xây dựng), đã chiếm một vị trí quan trọng trong sự phát triển của vật lí học cổ điển và được áp dụng rộng rãi trong khoa học kĩ thuật.

Nhưng đến cuối thế kỉ XIX đầu thế kỉ XX, khoa học kĩ thuật phát triển rất mạnh, trong những trường hợp vật chuyển động với tốc độ xấp xỉ bằng tốc độ ánh sáng thì cơ học Niu-tơn không còn đúng nữa. Chẳng hạn,

Theo cơ học cổ điển, thời gian xảy ra một hiện tượng, kích thước và khối lượng của một vật đều có trị số như nhau trong mọi hệ quy chiếu, dù vật đó đứng yên hay chuyển động.

Cần lưu ý rằng, về mặt nội dung, thuyết tương đối do Anh-xtanh xây dựng, là thuyết chung cho tất cả các lĩnh vực vật lí. Nó gồm hai phần : thuyết tương đối hẹp (chỉ nghiên cứu các hệ quy chiếu quán tính), và thuyết tương đối rộng (nghiên cứu các hệ quy chiếu không quán tính và trường hấp dẫn).

thí nghiệm cho thấy tốc độ c của ánh sáng truyền trong chân không luôn có giá trị c = 300 000 km/s (tức là bất biến) không tuỳ thuộc nguồn sáng đứng yên hay chuyển động. Hơn nữa, tốc độ của các hạt không thể vượt quá trị số 300 000 km/s.

Năm 1905, Anh-xtanh đã xây dựng một lí thuyết tổng quát hơn cơ học Niu-tơn gọi là *thuyết tương đối hẹp Anh-xtanh* (thường được gọi tắt là *thuyết tương đối*).

2. Các tiên đề Anh-xtanh

Để xây dựng thuyết tương đối (hẹp), Anh-xtanh đã đưa ra hai tiên đề, gọi là hai *tiên đề Anh-xtanh*, phát biểu như sau :

• *Tiên đề I (nguyên lí tương đối) :*

Các định luật vật lí (cơ học, điện từ học...) có cùng một dạng như nhau trong mọi hệ quy chiếu quán tính.

Nói cách khác, hiện tượng vật lí diễn ra như nhau trong các hệ quy chiếu quán tính.

• *Tiên đề II (nguyên lí về sự bất biến của tốc độ ánh sáng) :*

Tốc độ ánh sáng trong chân không có cùng độ lớn bằng c trong mọi hệ quy chiếu quán tính, không phụ thuộc vào phương truyền và vào tốc độ của nguồn sáng hay máy thu :

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 300\,000 \text{ km/s}$$

Đó là giá trị tốc độ lớn nhất của hạt vật chất trong tự nhiên.

3. Hai hệ quả của thuyết tương đối hẹp

Từ thuyết tương đối Anh-xtanh, người ta đã thu được hai hệ quả nói lên tính tương đối của không gian và thời gian :

a) Sự co độ dài

Xét một thanh nằm yên dọc theo trục toạ độ trong hệ quy chiếu quán tính K' ; nó có độ dài l_0, gọi là *độ dài riêng*. Phép tính chứng tỏ, độ dài l của thanh này đo được trong hệ quy chiếu quán tính K, khi thanh chuyển động với tốc độ v dọc theo trục toạ độ của hệ K, có giá trị bằng :

$$l = l_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < l_0 \qquad (50.1)$$

Như vậy, độ dài của thanh đã bị co lại theo phương chuyển động, theo tỉ lệ $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$.

Điều đó chứng tỏ, khái niệm không gian là tương đối, phụ thuộc vào hệ quy chiếu quán tính.

C1 Hãy tính độ co độ dài của một cái thước có độ dài riêng 1 m chuyển động với tốc độ $v = 0,6c$.

Dĩ nhiên sự co độ dài của vật chỉ là một hiện tượng thuần tuý động học, xảy ra đối với người quan sát ở trong hệ quy chiếu mà thanh chuyển động. Không có một nguyên nhân động lực học nào làm thanh co ngắn lại. Vì vậy, không thể hỏi : "Có lực nào tác dụng lên thanh làm độ dài của thanh bị co lại ?".

b) Sự chậm lại của đồng hồ chuyển động

Tại một điểm cố định M' của hệ quy chiếu quán tính K', chuyển động với tốc độ v đối với hệ quy chiếu quán tính K, có một hiện tượng diễn ra trong khoảng thời gian Δt_0 đo theo đồng hồ gắn với hệ K'. Phép tính chứng tỏ, khoảng thời gian xảy ra hiện tượng này, đo theo đồng hồ gắn với hệ K là Δt, được tính theo công thức :

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > \Delta t_0 \qquad (50.2)$$

hay là $\Delta t_0 < \Delta t$.

Đồng hồ gắn với vật chuyển động chạy chậm hơn đồng hồ gắn với quan sát viên đứng yên, tức là đồng hồ gắn với hệ K. Như vậy, khái niệm thời gian là tương đối, phụ thuộc vào sự lựa chọn hệ quy chiếu quán tính.

C2 Sau một giờ tính theo đồng hồ chuyển động với tốc độ $v = 0,6c$ thì đồng hồ này chạy chậm hơn đồng hồ gắn với quan sát viên đứng yên bao nhiêu giây ?

Công thức (50.2) đã được thực nghiệm xác nhận. Hạt mêzôn π^+ (xem Bài 58) được tạo thành ở thượng tầng khí quyển, có thời gian sống $\Delta t_0 = 2,2.10^{-8}$ s, chuyển động với tốc độ $v = 0,99999999c$. Theo cơ học cổ điển, hạt đó chỉ đi được một đoạn $v\Delta t_0 \approx 6,5$ m, nghĩa là không thể đi tới mặt đất. Còn theo thuyết tương đối, đối với hệ K (mặt đất), hạt đó có thời gian sống bằng

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 7\,000\Delta t_0.$$

Do đó, hạt đó đã đi được một quãng đường $v\Delta t = 46$ km. Vì vậy, người ta đã có thể phát hiện được hạt này ở mặt đất.

CÂU HỎI

1. Phát biểu hai tiên đề Anh-xtanh.
2. Nêu vắn tắt hai hệ quả của thuyết tương đối hẹp.

BÀI TẬP

1. Khi nguồn sáng chuyển động, tốc độ truyền ánh sáng trong chân không có giá trị
   A. nhỏ hơn *c*.
   B. lớn hơn *c*.
   C. lớn hơn hoặc nhỏ hơn *c*, phụ thuộc vào phương truyền và tốc độ của nguồn.
   D. luôn bằng *c*, không phụ thuộc phương truyền và tốc độ của nguồn.
2. Khi một cái thước chuyển động dọc theo phương chiều dài của nó, độ dài của thước đo trong hệ quán tính *K*
   A. không thay đổi.
   B. co lại, tỉ lệ nghịch với tốc độ của thước.
   C. dãn ra, phụ thuộc vào tốc độ chuyển động của thước.
   D. co lại theo tỉ lệ $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$.
3. Tính độ co độ dài của một cái thước có độ dài riêng bằng 30 cm, chuyển động với tốc độ $v = 0{,}8c$.
4. Một đồng hồ chuyển động với tốc độ $v = 0{,}8c$. Hỏi sau 30 phút (tính theo đồng hồ đó) thì đồng hồ này chạy chậm hơn đồng hồ gắn với quan sát viên đứng yên bao nhiêu giây ?

Em có biết ?

Trong cơ học cổ điển, ta có công thức cộng vận tốc sau đây cho trường hợp các vận tốc cùng hướng : $u_x = u'_x + v$, với u_x là vận tốc tuyệt đối (đối với hệ quán tính *K*, xem như đứng yên), u'_x là vận tốc tương đối (đối với hệ quán tính *K'* chuyển động với vận tốc *v* đối với *K*). Trong thuyết tương đối, người ta đã tìm được công thức cộng vận tốc :

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{v}{c^2}u'_x} \qquad (50.3)$$

Công thức này thể hiện tính bất biến của vận tốc ánh sáng trong chân không đối với các hệ quán tính. Thực vậy, nếu $u'_x = c$ thì từ (50.3) ta tìm được $u_x = c$. Khi $v \ll c$, từ (50.3) ta rút ra công thức cộng vận tốc của cơ học cổ điển.

51 HỆ THỨC ANH-XTANH GIỮA KHỐI LƯỢNG VÀ NĂNG LƯỢNG

1. Khối lượng tương đối tính

Theo cơ học cổ điển, động lượng đặc trưng cho chuyển động về mặt động lực học. Trong thuyết tương đối, động lượng tương đối tính của một vật chuyển động với vận tốc $\vec{v}$ cũng được định nghĩa bằng công thức có dạng tương tự như công thức định nghĩa động lượng trong cơ học cổ điển :

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (51.1)$$

Ở đây có điều khác là, đại lượng m được xác định theo công thức :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \geq m_0 \quad (51.2)$$

trong đó c là tốc độ ánh sáng, m là *khối lượng tương đối tính* của vật (đó là khối lượng của vật khi chuyển động với tốc độ v), còn m_0 là *khối lượng nghỉ* (còn gọi là *khối lượng tĩnh*) của vật (đó là khối lượng của vật khi nó đứng yên, $v = 0$). Như vậy, khối lượng của một vật có tính tương đối, giá trị của nó phụ thuộc hệ quy chiếu. Khối lượng của vật tăng khi v tăng.

Cơ học cổ điển chỉ xét những vật chuyển động với tốc độ $v \ll c$, nên khối lượng của vật có trị số gần đúng bằng khối lượng nghỉ m_0 của nó : $m \approx m_0$.

C1 Hãy tính khối lượng tương đối tính của một người có khối lượng nghỉ m_0 = 60 kg chuyển động với tốc độ 0,8c.

Ta thấy khi $v \approx c$ thì khối lượng tăng vô cùng. Do đó, muốn tiếp tục tăng tốc độ cho chất điểm, ta phải tác dụng lên nó một lực vô cùng lớn. Lực đó không thể có trong thực tế. Và như vậy, không có vật nào có thể chuyển động với tốc độ bằng tốc độ ánh sáng trong chân không.

2. Hệ thức giữa năng lượng và khối lượng

Thuyết tương đối đã thiết lập hệ thức rất quan trọng sau đây giữa năng lượng toàn phần và khối lượng m của một vật (hoặc một hệ vật) :

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}c^2 \quad (51.3)$$

Hệ thức này được gọi là *hệ thức Anh-xtanh*. Theo hệ thức này, khi vật có khối lượng m thì nó cũng có một năng lượng E, và ngược lại, khi vật có năng lượng E thì nó có khối lượng tương ứng là m. Hai đại lượng này luôn tỉ lệ với nhau với hệ số tỉ lệ bằng c^2 :

Năng lượng = khối lượng × c^2

Khi năng lượng thay đổi một lượng ΔE thì khối lượng thay đổi một lượng Δm tương ứng và ngược lại. Từ (51.3) ta có :

$$\Delta E = \Delta m.c^2 \quad (51.4)$$

Các trường hợp riêng :

– Khi $v = 0$ thì $E_0 = m_0c^2$. E_0 được gọi là *năng lượng nghỉ* (ứng với khi vật đứng yên).

– Khi $v \ll c$ (với các trường hợp của cơ học cổ điển), hay $\frac{v}{c} \ll 1$, ta có $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}$,

và do đó, năng lượng toàn phần bằng :

$$W \approx m_0c^2 + \frac{1}{2}m_0v^2 \quad (51.5)$$

Như vậy, khi vật chuyển động, năng lượng toàn phần của nó bao gồm năng lượng nghỉ và động năng của vật.

Theo vật lí học cổ điển, nếu một hệ vật là kín (cô lập) thì khối lượng và năng lượng (thông thường) của nó được bảo toàn. Còn theo thuyết tương đối, đối với hệ kín, khối lượng nghỉ và năng lượng nghỉ tương ứng không nhất thiết được bảo toàn, nhưng năng lượng toàn phần W được bảo toàn.

Từ (51.1) và (51.3), có thể rút ra hệ thức giữa năng lượng và động lượng của vật :

$$E^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2 \quad (51.6)$$

Hệ thức này thường được sử dụng khi khảo sát các hạt chuyển động với tốc độ lớn trong lĩnh vực vật lí hạt nhân và vật lí các hạt sơ cấp.

C2 Tính năng lượng toàn phần của một vật đứng yên có khối lượng nghỉ m_0 = 1 kg. So sánh năng lượng này với điện năng do Nhà máy thuỷ điện Hoà Bình (có công suất 1,92 triệu kilôoát) có thể phát ra trong 1 năm.

Nói chung, một vật có khối lượng nghỉ m_0 chuyển động với tốc độ v sẽ có động năng bằng :

$$W_đ = mc^2 - m_0c^2 = (m - m_0)c^2$$

hay $W_đ = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1\right)$.

3. Áp dụng cho phôtôn

Theo thuyết lượng tử ánh sáng, phôtôn ứng với bức xạ đơn sắc có bước sóng λ và tần số f có năng lượng :

$$\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Kí hiệu m_{ph} là khối lượng tương đối tính của phôtôn, ta có $\varepsilon = m_{ph}c^2$. Như vậy :

$$m_{ph} = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{hf}{c^2} = \frac{h}{c\lambda} \quad (51.7)$$

Từ đó, theo (51.2) khối lượng nghỉ m_{0ph} của phôtôn bằng :

$$m_{0ph} = m_{ph}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Vì $v = c$ nên :

$$m_{0ph} = 0 \quad (51.8)$$

Vậy, khối lượng nghỉ của phôtôn bằng 0.

C3 Tính khối lượng của phôtôn ứng với bức xạ có $\lambda = 0{,}50\ \mu m$.

Theo (51.1) và (51.7), động lượng tương đối tính của phôtôn là :

$$p = m_{ph}c = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (51.9)$$

CÂU HỎI

Nêu hệ thức Anh-xtanh giữa khối lượng và năng lượng.

BÀI TẬP

1. Theo thuyết tương đối, khối lượng tương đối tính của một vật có khối lượng nghỉ m_0 chuyển động với tốc độ v là

A. $m = m_0\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}$.

B. $m = m_0\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$.

C. $m = m_0\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$.

D. $m = m_0\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$.

2. Hệ thức Anh-xtanh giữa khối lượng và năng lượng là

A. $E = \frac{m}{c^2}$.

B. $E = mc$.

C. $E = \frac{m}{c}$.

D. $E = mc^2$.

3. Một hạt có động năng bằng năng lượng nghỉ của nó. Tính tốc độ của hạt.



ÓM TẮT CHƯƠNG VIII

1. Các tiên đề Anh-xtanh

• Các định luật vật lí (cơ học, điện từ học...) có cùng một dạng như nhau trong mọi hệ quy chiếu quán tính.

• Tốc độ của ánh sáng trong chân không có cùng độ lớn *c* trong mọi hệ quy chiếu quán tính ; *c* là giới hạn của các tốc độ chuyển động của hạt vật chất.

2. Một số hệ quả của thuyết tương đối

• Độ dài của một thanh bị co lại dọc theo phương chuyển động của nó.

• Đồng hồ gắn với quan sát viên chuyển động chạy chậm hơn đồng hồ gắn với quan sát viên đứng yên.

• Khối lượng của vật chuyển động với tốc độ v (khối lượng tương đối tính) là :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$, với m_0 là khối lượng nghỉ

• *Hệ thức Anh-xtanh giữa năng lượng và khối lượng :* Nếu một vật có khối lượng m thì nó có năng lượng E tỉ lệ với m.

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Đối với hệ kín, khối lượng và năng lượng nghỉ không nhất thiết được bảo toàn nhưng *năng lượng toàn phần* (bao gồm cả động năng và năng lượng nghỉ) được bảo toàn.

Cơ học cổ điển là trường hợp riêng của cơ học tương đối tính khi tốc độ chuyển động của vật rất nhỏ so với tốc độ ánh sáng.

CHƯƠNG IX

HẠT NHÂN NGUYÊN TỬ



Ảnh chụp một vụ nổ nguyên tử. Vụ nổ tạo ra "đám mây nguyên tử hình nấm" chứa các sản phẩm phân hạch phóng xạ.

Chương này trình bày một số vấn đề cơ bản của vật lí hạt nhân : các đặc trưng của hạt nhân nguyên tử (cấu tạo, độ hụt khối, năng lượng liên kết), các phản ứng hạt nhân (sự phóng xạ, phản ứng phân hạch, phản ứng nhiệt hạch), năng lượng hạt nhân, cùng các ứng dụng của phản ứng hạt nhân và đồng vị phóng xạ.

52 CẤU TẠO CỦA HẠT NHÂN NGUYÊN TỬ ĐỘ HỤT KHỐI

Khối lượng của hạt nhân có bằng tổng khối lượng các nuclôn tạo thành nó hay không ? Tại sao các prôtôn mang điện tích dương lại có thể gắn kết chặt với nhau trong hạt nhân chứ không đẩy nhau ra xa ?

1. Cấu tạo hạt nhân. Nuclôn

a) Cấu tạo hạt nhân

• Thực nghiệm đã chứng tỏ hạt nhân được cấu tạo từ những hạt nhỏ hơn, gọi là *nuclôn*. Có hai loại nuclôn : *prôtôn*, kí hiệu p, có khối lượng $m_p = 1,67262.10^{-27}$ kg, mang một điện tích nguyên tố dương $+e$, và *nơtron*, kí hiệu n, có khối lượng $m_n = 1,67493.10^{-27}$ kg, không mang điện. Prôtôn chính là hạt nhân nguyên tử hiđrô.

• Số prôtôn trong hạt nhân bằng số thứ tự Z của nguyên tử trong Bảng tuần hoàn Men-đê-lê-ép ; Z được gọi là *nguyên tử số* (còn gọi là điện tích hạt nhân, có giá trị bằng số điện tích nguyên tố trong hạt nhân). Tổng số các nuclôn trong hạt nhân gọi là *số khối*, kí hiệu A. Như vậy số nơtron trong hạt nhân là : $N = A - Z$.

b) Kí hiệu hạt nhân

Hạt nhân nguyên tử của nguyên tố có kí hiệu hoá học X được kí hiệu là $^{A}_{Z}X$. Chẳng hạn, $^{4}_{2}He$ là kí hiệu của hạt nhân heli (còn gọi là hạt α) có $Z = 2$ prôtôn và $N = A - Z = 2$ nơtron. Nhiều khi, để cho gọn, ta chỉ cần ghi số khối, vì kí hiệu hoá học đã xác định Z rồi. Chẳng hạn, hạt nhân urani có kí hiệu ^{238}U (vì đã biết urani có $Z = 92$) ; cũng có thể viết U238.

c) Kích thước hạt nhân

Có thể coi hạt nhân nguyên tử như một quả cầu bán kính R. Người ta thấy rằng, R phụ thuộc số khối theo công thức *gần đúng* sau :

$$R = 1,2.10^{-15} A^{\frac{1}{3}} \text{ (m)} \qquad (52.1)$$

C1 Tính bán kính của hạt nhân ^{238}U. Hạt nhân ^{238}U có thể tích lớn hơn hạt nhân heli $^{4}_{2}He$ mấy lần ?

2. Đồng vị

Đồng vị là những nguyên tử mà hạt nhân chứa cùng số prôtôn Z (có cùng vị trí trong bảng tuần hoàn), *nhưng có số nơtron N khác nhau.*

Hiđrô có 3 đồng vị : hiđrô thường $^{1}_{1}H$; đơteri $^{2}_{1}H$ (hay $^{2}_{1}D$) và triti $^{3}_{1}H$ (hay $^{3}_{1}T$). (Đơteri kết hợp với ôxi thành nước nặng D_2O, là nguyên liệu của công nghệ nguyên tử).

Các đồng vị được chia làm hai loại : đồng vị bền và đồng vị phóng xạ (không bền). Trong thiên nhiên có khoảng gần 300 đồng vị bền ; ngoài ra còn có vài nghìn đồng vị phóng xạ tự nhiên và nhân tạo (xem Bài 53).

Hầu hết các nguyên tố đều là hỗn hợp của nhiều đồng vị. Urani có 2 đồng vị chính : ^{235}U và ^{238}U, trong đó đồng vị ^{238}U chiếm tới 99,3% urani thiên nhiên. Cacbon có ba đồng vị chính là ^{12}C, ^{13}C, ^{14}C, trong đó đồng vị ^{12}C và ^{13}C là đồng vị bền chiếm 99% cacbon thiên nhiên. *Độ phổ biến* của các đồng vị bền hầu như không thay đổi giữa các nơi trong vỏ Trái Đất, trừ trường hợp các đồng vị nhẹ của hiđrô, ôxi, nitơ,...

3. Đơn vị khối lượng nguyên tử

a) Trong vật lí hạt nhân, khối lượng thường được đo bằng đơn vị khối lượng nguyên tử, kí hiệu là u. Theo định nghĩa, u có trị số bằng $\frac{1}{12}$ khối lượng của đồng vị cacbon $^{12}_{6}C$ (vì vậy, đôi khi đơn vị này còn gọi là *đơn vị cacbon*) :

$$1\,u = \frac{1}{12} \cdot \frac{12}{6,0221.10^{23}}\, g \approx 1,66055.10^{-27}\, kg \qquad (52.2)$$

Đồng vị $^{12}_{6}C$ có 12 nuclôn, nên khối lượng của một nuclôn xấp xỉ bằng 1 u. Nói chung, một nguyên tử có số khối A thì có khối lượng của nó xấp xỉ bằng A u.

C2 Tính khối lượng riêng của hạt nhân $^{A}_{Z}X$. Nêu nhận xét.

C3 Tính 1 MeV/c^2 ra đơn vị kg.

Prôtôn có khối lượng nghỉ là :

$$m_p = 1{,}007276\ \text{u} \approx 938\ \text{MeV/c}^2$$

Nơtron có khối lượng nghỉ là :

$$m_n = 1{,}008665\ \text{u} \approx 939\ \text{MeV/c}^2$$

Êlectron có khối lượng nghỉ là :

$$m_e = 5{,}486.10^{-4}\ \text{u} \approx 0{,}511\ \text{MeV/c}^2$$

b) Hệ thức Anh-xtanh $E = mc^2$ (hay $m = \dfrac{E}{c^2}$) chứng tỏ rằng khối lượng còn có thể đo bằng đơn vị của năng lượng chia cho c^2, cụ thể là có thể đo bằng eV/c^2 hoặc MeV/c^2.

Ta có :

$$1\text{u} = 931{,}5\ \text{MeV/c}^2 \qquad (52.3)$$

4. Năng lượng liên kết

a) Lực hạt nhân

Lực tương tác giữa các nuclôn trong hạt nhân là lực hút, gọi là *lực hạt nhân*, có tác dụng liên kết các nuclôn với nhau. Lực hạt nhân không phải là lực tĩnh điện, nó không phụ thuộc vào điện tích của nuclôn. So với lực điện từ và lực hấp dẫn, lực hạt nhân có cường độ rất lớn (còn gọi là *lực tương tác mạnh*) và chỉ có tác dụng khi hai nuclôn cách nhau một khoảng rất ngắn, bằng hoặc nhỏ hơn kích thước của hạt nhân. Điều đó có nghĩa là, *bán kính tác dụng* của lực hạt nhân khoảng 10^{-15} m. Muốn tách nuclôn ra khỏi hạt nhân, cần phải tốn năng lượng để thắng lực hạt nhân.

b) Độ hụt khối. Năng lượng liên kết

C4 Biết khối lượng hạt nhân heli ^4_2He là m_{He} = 4,0015 u, hãy so sánh khối lượng này với tổng khối lượng các nuclôn tạo thành hạt nhân heli.

Các phép đo chính xác đã chứng tỏ rằng, khối lượng m của hạt nhân ^A_ZX bao giờ cũng nhỏ hơn một lượng Δm so với tổng khối lượng các nuclôn tạo thành hạt nhân đó. Lượng Δm này bằng :

$$\Delta m = \left[Zm_p + (A - Z)m_n\right] - m \qquad (52.4)$$

Δm được gọi là độ hụt khối của hạt nhân.

Theo thuyết tương đối, hệ các nuclôn ban đầu có năng lượng :

$$E_0 = \left[Zm_p + (A - Z)m_n\right]c^2$$

còn hạt nhân được tạo thành từ chúng thì có năng lượng $E = mc^2 < E_0$. Vì năng lượng toàn phần được bảo toàn, nên đã có một lượng năng lượng $W_{lk} = E_0 - E = \Delta m.c^2$ toả ra khi hệ các nuclôn kết hợp thành hạt nhân.

Ngược lại, nếu muốn tách hạt nhân đó thành các nuclôn riêng rẽ, có tổng khối lượng $Zm_p + (A - Z)m_n > m$, thì ta phải tốn năng lượng $W_{lk} = \Delta m.c^2$ để thắng lực tương tác giữa chúng. Năng lượng W_{lk} càng lớn thì liên kết giữa các nuclôn càng mạnh. Vì vậy, đại lượng :

$$W_{lk} = \Delta m.c^2 \qquad (52.5)$$

được gọi là *năng lượng liên kết các nuclôn trong hạt nhân*, hay gọn hơn, là *năng lượng liên kết hạt nhân*.

Năng lượng liên kết tính cho một nuclôn, $\frac{W_{lk}}{A}$, gọi là *năng lượng liên kết riêng*, đặc trưng cho độ bền vững của hạt nhân.

Hạt nhân có năng lượng liên kết riêng càng lớn thì càng bền vững. Đối với các hạt nhân có số khối *A* trong khoảng từ 50 đến 70, năng lượng liên kết riêng của chúng có giá trị lớn nhất, vào cỡ 8,8 MeV/nuclôn.

C5 Tính năng lượng liên kết và năng lượng liên kết riêng của hạt nhân heli $^4_2$He.

Với hạt nhân $^{16}_{8}$O thì $\frac{W_{lk}}{A} = 8$ MeV/nuclôn, còn với hạt nhân $^{235}_{92}$U thì $\frac{W_{lk}}{A} = 7{,}6$ MeV/nuclôn.

CÂU HỎI

1. Hạt nhân nguyên tử được cấu tạo như thế nào ?

Hãy nêu cấu tạo hạt nhân của các nguyên tử $^{16}_{8}$O và $^{238}_{92}$U.

2. Đồng vị là gì ? Cho ví dụ.

3. Nêu các đơn vị dùng để đo khối lượng nguyên tử trong vật lí hạt nhân.

4. Độ hụt khối và năng lượng liên kết của hạt nhân là gì ? Chúng có liên quan thế nào với sự bền vững của hạt nhân ?



BÀI TẬP

1. Hạt nhân nguyên tử được cấu tạo bởi

   A. prôtôn. B. nơtron. C. prôtôn và nơtron. D. prôtôn, nơtron và êlectron.

2. Đồng vị là những nguyên tử mà hạt nhân chứa

   A. cùng số prôtôn Z, nhưng số nơtron N khác nhau.

   B. cùng số nơtron N, nhưng số prôtôn Z khác nhau.

   C. cùng số nuclôn A, nhưng số prôtôn Z và số nơtron N khác nhau.

   D. cùng số prôtôn Z và số nơtron N.

3. Đơn vị khối lượng nguyên tử là

   A. khối lượng của hạt nhân nguyên tử hiđrô.

   B. khối lượng của một nguyên tử hiđrô.

   C. khối lượng bằng $\frac{1}{12}$ lần khối lượng của đồng vị $^{12}_{6}C$ của nguyên tử cacbon.

   D. khối lượng bằng $\frac{1}{12}$ lần khối lượng của đồng vị của nguyên tử ôxi.

4. Năng lượng liên kết riêng của một hạt nhân

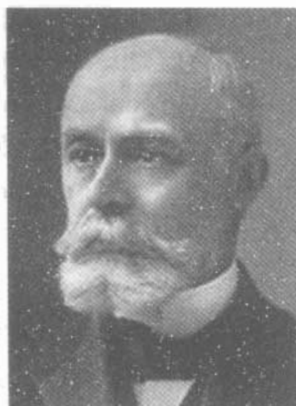
   A. có thể âm hoặc dương. B. càng lớn, thì hạt nhân càng bền.

   C. càng nhỏ, thì hạt nhân càng bền. D. có thể triệt tiêu, đối với một số hạt nhân đặc biệt.

5. Hạt nhân đơteri có khối lượng 2,0136 u. Tính năng lượng liên kết của nó.

6. Hạt nhân α có khối lượng 4,0015 u. Tính năng lượng toả ra khi tạo thành 1 mol heli. Cho biết số A-vô-ga-đrô $N_A = 6{,}022.10^{23}$ mol^{-1}.

53 PHÓNG XẠ



BÉC-CƠ-REN
(Antoine Henri Becquerel,
1852 – 1908,
nhà vật lí người Pháp,
giải Nô-ben về vật lí năm 1903)



PI-E QUY-RI
(Pierre Curie,
1859 – 1906,
nhà vật lí người Pháp,
giải Nô-ben về vật lí năm 1903)



MA-RI QUY-RI
(Marie Sklodowska Curie,
1867 – 1934,
nhà vật lí người Pháp,
giải Nô-ben về vật lí năm 1903
và về hoá học năm 1911)

Ba nhà bác học tiên phong trong nghiên cứu sự phóng xạ.

Phải chăng cơ thể chúng ta cũng có tính phóng xạ ?

1. Hiện tượng phóng xạ

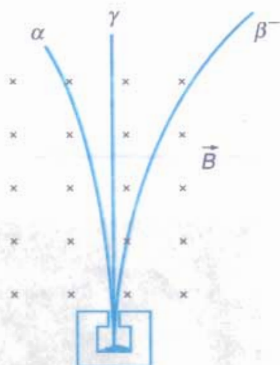
Hiện tượng một hạt nhân không bền vững tự phát phân rã, phát ra các tia phóng xạ và biến đổi thành hạt nhân khác gọi là hiện tượng phóng xạ.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy, quá trình phân rã phóng xạ chỉ do các nguyên nhân bên trong gây ra và hoàn toàn không chịu tác động của các yếu tố thuộc môi trường ngoài như nhiệt độ, áp suất...

Như vậy, *quá trình phân rã phóng xạ chính là quá trình dẫn đến sự biến đổi hạt nhân.*

Người ta quy ước gọi hạt nhân phóng xạ là *hạt nhân mẹ* và hạt nhân sản phẩm phân rã là *hạt nhân con.*

Năm 1896, khi nghiên cứu các hợp chất phát lân quang, nhà bác học Béc-cơ-ren đã tình cờ phát hiện thấy rằng, miếng urani sunfat đã phát ra một loại bức xạ không nhìn thấy, nhưng tác dụng mạnh lên các tấm kính ảnh bọc kĩ trong giấy đen dày đặt dưới miếng đó. Ông gọi hiện tượng này là *sự phóng xạ*, urani là *chất phóng xạ* và bức xạ phát ra là *tia phóng xạ*. Năm 1898, Pi-e Quy-ri và Ma-ri Quy-ri đã tìm ra hai chất phóng xạ mới là pôlôni và rađi. Rađi có tính phóng xạ cao hơn nhiều so với urani và pôlôni.



Hình 53.1 Sự lệch các tia phóng xạ trong từ trường.

C1 Cho tia phóng xạ (phát ra từ một mẫu chất phóng xạ) đi qua từ trường (hoặc điện trường giữa hai bản tụ điện tích điện), ta thấy các tia α, β và γ bị lệch khác nhau. Giải thích tại sao.

2. Các tia phóng xạ

a) Các loại tia phóng xạ

Khảo sát tia phóng xạ do các chất phóng xạ phát ra, người ta thấy có ba loại tia phóng xạ chính, có bản chất khác nhau là tia anpha (kí hiệu α), tia bêta (kí hiệu là β) và tia gamma (kí hiệu là γ) (Hình 53.1). Như vậy, ta có thể phân loại các quá trình phân rã phóng xạ thành ba loại, tương ứng với sự phóng ra ba loại tia phóng xạ đó : *phóng xạ* α (hay *phân rã* α), *phóng xạ* β (hay *phân rã* β) và *phóng xạ* γ.

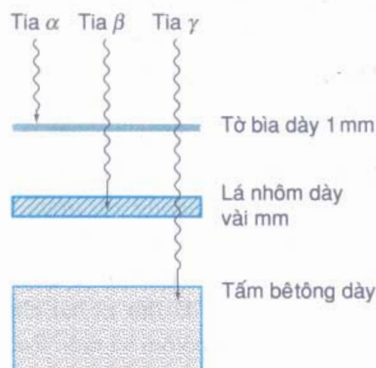
Tia phóng xạ là tia không nhìn thấy được, nhưng có những tác dụng như : kích thích một số phản ứng hoá học, ion hoá không khí, làm đen kính ảnh, xuyên thấu lớp vật chất mỏng, phá huỷ tế bào,...

Có khoảng 25 đồng vị phóng xạ tự nhiên và 100 đồng vị phóng xạ nhân tạo (được chế tạo trong phòng thí nghiệm) bị phân rã α (trong số đó có urani, rađi, thori).

b) Bản chất các loại tia phóng xạ

• *Tia* α

Tia α chính là các hạt nhân của nguyên tử heli (kí hiệu ^4_2He, gọi là hạt α), được phóng ra từ hạt nhân với tốc độ khoảng 2.10^7 m/s. Tia α làm ion hoá mạnh các nguyên tử trên đường đi của nó và mất năng lượng rất nhanh. Vì vậy, tia α chỉ đi được tối đa khoảng 8 cm trong không khí và không xuyên qua được tờ bìa dày 1 mm.



Hình 53.2 Khả năng xuyên thấu của các tia phóng xạ qua vật chất.

• *Tia* β

Tia β là các hạt phóng ra với tốc độ rất lớn, có thể đạt xấp xỉ bằng tốc độ ánh sáng. Tia β cũng làm ion hoá môi trường nhưng yếu hơn so với tia α. Vì vậy, tia β có thể đi được quãng đường dài hơn, tới vài mét trong không khí và có thể xuyên qua được lá nhôm dày cỡ milimét.

Có hai loại tia β :

– Loại phổ biến là tia β^-. Đó chính là các êlectron (kí hiệu ${}_{-1}^{0}e$ hay e^-). Ví dụ đồng vị phóng xạ cacbon ${}_{6}^{14}C$ phân rã β^-.

– Loại hiếm hơn là tia β^+. Đó chính là các pôzitron, hay êlectron dương (kí hiệu ${}_{+1}^{0}e$ hay e^+), có cùng khối lượng như êlectron, nhưng mang điện tích nguyên tố dương. Ví dụ đồng vị phóng xạ ${}_{6}^{11}C$ phân rã β^+.

Ngoài ra, nhà vật lí Pao-li, người Áo, đã tiên đoán sự tồn tại của hạt sơ cấp mới trong phân rã β là *nơtrinô* (kí hiệu ν) và *phản nơtrinô* (kí hiệu $\tilde{\nu}$) ; các hạt này không mang điện, có khối lượng nghỉ bằng 0, chuyển động với tốc độ xấp xỉ bằng tốc độ ánh sáng. Thực nghiệm đã xác nhận giả thuyết này.



PAO-LI
(Wolfgang Pauli, 1900 – 1958, nhà vật lí người Áo, giải Nô-ben về vật lí năm 1945, đã tiên đoán sự tồn tại của các hạt nơtrinô và phản nơtrinô trong phân rã β).

Trong phân rã β^+, hạt phát ra là nơtrinô (ν), còn trong phân rã β^-, hạt phát ra là phản nơtrinô ($\tilde{\nu}$).

• *Tia γ*

Tia γ là sóng điện từ có bước sóng rất ngắn (dưới 10^{-11} m), cũng là hạt phôtôn có năng lượng cao. Vì vậy, tia γ có khả năng xuyên thấu lớn hơn nhiều so với tia α và β. Trong phân rã α và β, hạt nhân con có thể ở trong trạng thái kích thích và phóng xạ tia γ để trở về trạng thái cơ bản.

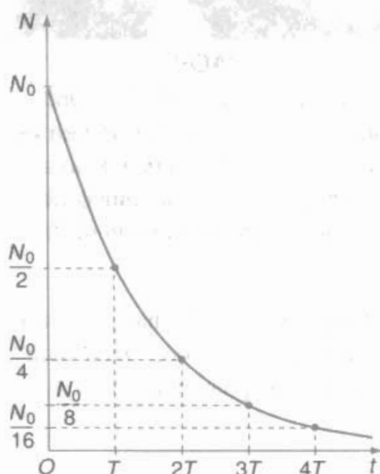
3. Định luật phóng xạ. Độ phóng xạ

a) Định luật phóng xạ

Giả sử ở một thời điểm xác định nào đó, chọn làm thời điểm ban đầu $t = 0$, khối lượng chất phóng xạ là m_0 và số hạt nhân là N_0. Trong quá trình phân rã phóng xạ, số hạt nhân đó sẽ giảm theo thời gian. Thực nghiệm đã chứng tỏ, cứ sau một khoảng thời gian xác định T thì một nửa số hạt nhân hiện có bị phân rã, biến đổi thành hạt nhân khác ; T được gọi là *chu kì bán rã* của chất phóng xạ. Điều đó có nghĩa là sau các thời gian $T, 2T, 3T... kT$ (k là số nguyên dương), số hạt nhân (số nguyên tử)

Vì các tia phóng xạ đều có năng lượng, nên sự phân rã phóng xạ toả ra năng lượng, và một phần năng lượng này biến thành nhiệt làm nóng bình đựng chất phóng xạ. Vậy, chất phóng xạ là một nguồn năng lượng. Người ta đã dùng các đồng vị phóng xạ ^{238}Pu và ^{242}Cm để chế tạo các pin nhiệt điện trực tiếp biến đổi nhiệt toả ra do quá trình phân rã α thành điện năng.

Quá trình phân rã phóng xạ là một quá trình ngẫu nhiên : thời điểm phân rã của một hạt nhân cho trước là không xác định. Do đó, ta không thể khảo sát sự biến đổi của một hạt nhân đơn lẻ, mà chỉ có thể tiến hành việc khảo sát có tính thống kê sự biến đổi của một số lớn hạt nhân trong mẫu chất phóng xạ.



Hình 53.3 Đồ thị N(t).

Bảng 53.1.

Chu kì bán rã của một số chất phóng xạ

Chất phóng xạ	Chu kì bán rã T
Cacbon $^{14}_{6}C$	5 730 năm
Iôt $^{131}_{53}I$	8,9 ngày
Ôxi $^{15}_{8}O$	122 giây
Pôlôni $^{210}_{84}Po$	138,4 ngày
Rađi $^{226}_{88}Ra$	1 620 năm
Rađôn $^{219}_{86}Rn$	4 giây
Urani $^{235}_{92}U$	$7,13.10^8$ năm

N chưa bị phân rã bằng $\frac{N_0}{2}, \frac{N_0}{4}, \frac{N_0}{8} \dots \frac{N_0}{2^k}$, tức là :

$$N(kT) = N_0.2^{-k} \quad (53.1)$$

Đồ thị biểu diễn sự biến thiên của số hạt nhân N của chất phóng xạ theo thời gian t cho trên Hình 53.3. Do tính liên tục của quá trình phân rã (tức là của giá trị $N(t)$) ta có thể viết :

$$N(t) = N_0.2^{-\frac{t}{T}}$$

hay
$$N(t) = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t} = N_0 e^{-\lambda t} \quad (53.2)$$

với :
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T} \quad (53.3)$$

gọi là *hằng số phóng xạ, đặc trưng cho từng loại chất phóng xạ.*

Vì khối lượng tỉ lệ với số hạt nên khối lượng m của chất phóng xạ cũng giảm theo thời gian, với cùng quy luật như số hạt nhân N :

$$m(t) = m_0 e^{-\lambda t} \quad (53.4)$$

Các công thức (53.2) và (53.4) biểu thị *định luật phóng xạ :*

Trong quá trình phân rã, số hạt nhân phóng xạ giảm theo thời gian theo định luật hàm số mũ.

b) Độ phóng xạ

Để đặc trưng cho tính phóng xạ mạnh hay yếu của một lượng chất phóng xạ, người ta dùng đại lượng gọi là *độ phóng xạ* (hay *hoạt độ phóng xạ*), được xác định bằng số hạt nhân phân rã trong một giây. Độ phóng xạ đặc trưng cho tốc độ phân rã. Đơn vị đo độ phóng xạ có tên gọi là *becơren*, kí hiệu Bq, bằng 1 phân rã/giây. Trong thực tế, người ta còn

dùng một đơn vị khác, có tên là *curi*, kí hiệu Ci :

1 Ci = $3,7.10^{10}$Bq, xấp xỉ bằng độ phóng xạ của một gam rađi.

Vì số hạt nhân của một lượng chất phóng xạ giảm dần, nên độ phóng xạ H của chất phóng xạ cũng giảm theo thời gian. Nếu ΔN là số hạt nhân bị phân rã trong khoảng thời gian Δt, ta có :

$$H = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$H = \lambda N \qquad (53.5)$$

Độ phóng xạ của một lượng chất phóng xạ tại thời điểm t bằng tích của hằng số phóng xạ và số lượng hạt nhân phóng xạ chứa trong lượng chất đó ở thời điểm t.

Độ phóng xạ ban đầu bằng :

$$H_0 = \lambda N_0 \qquad (53.6)$$

Như vậy, ta có :

$$H = H_0 e^{-\lambda t} \qquad (53.7)$$

Độ phóng xạ của một lượng chất phóng xạ giảm theo thời gian theo cùng quy luật hàm số mũ giống như số hạt nhân (số nguyên tử) của nó.

Người ta hay dùng các ước của curi :

1 mCi (milicuri) = 10^{-3} Ci

1 μCi (micrôcuri) = 10^{-6} Ci

Trong thăm dò địa chất, người ta còn dùng đơn vị picôcuri (1 pCi = 10^{-12} Ci) để so sánh độ phóng xạ rất nhỏ của đất đá tự nhiên.

Cơ thể chúng ta có tính phóng xạ. Các phép đo cho thấy : một người có khối lượng 70 kg có độ phóng xạ trung bình $1,2.10^4$ Bq trong đó chủ yếu là sự phóng xạ do kali ^{40}K ($4,5.10^3$ Bq) và do cacbon ^{14}C ($3,7.10^3$ Bq).

4. Đồng vị phóng xạ và các ứng dụng

a) Đồng vị phóng xạ

Ngoài các đồng vị phóng xạ có sẵn trong thiên nhiên, gọi là *đồng vị phóng xạ tự nhiên*, người ta cũng đã chế tạo được nhiều đồng vị phóng xạ, gọi là *đồng vị phóng xạ nhân tạo*. Các đồng vị phóng xạ nhân tạo thường thấy thuộc loại phân rã β và γ. Người ta đã tạo ra được nhiều đồng vị phóng xạ mới cho các nguyên tố hoá học trong Bảng tuần hoàn Men-đê-lê-ép. *Các đồng vị phóng xạ của một nguyên tố hoá học có cùng tính chất hoá học như đồng vị bền của nguyên tố đó.*

b) Các ứng dụng của đồng vị phóng xạ

Các đồng vị phóng xạ tự nhiên hoặc nhân tạo có những ứng dụng rất đa dạng.

• Trước hết, phải kể đến ứng dụng của chúng trong Y học. Người ta đưa các đồng vị phóng xạ khác nhau vào trong cơ thể để theo dõi sự thâm nhập và di chuyển của các nguyên tố nhất định trong cơ thể người. Chúng được gọi là *nguyên tử đánh dấu* ; ta sẽ nhận diện được chúng nhờ các thiết bị ghi bức xạ. Nhờ phương pháp nguyên tử đánh dấu, người ta có thể biết được chính xác nhu cầu với các nguyên tố khác nhau của cơ thể trong từng thời kì phát triển của nó và tình trạng bệnh lí của các bộ phận khác nhau của cơ thể, khi thừa hoặc thiếu những nguyên tố nào đó.

• Các nhà khảo cổ học đã sử dụng *phương pháp xác định tuổi theo lượng cacbon 14* để xác định niên đại của các cổ vật gốc sinh vật khai quật được.

Cacbon có ba đồng vị chính : ^{12}C (phổ biến nhất) và ^{13}C là bền, ^{14}C là chất phóng xạ β^-. ^{14}C được tạo ra trong khí quyển và thâm nhập vào mọi vật trên Trái Đất. Nó có chu kì bán rã 5 730 năm. Sự phân rã này cân bằng với sự tạo ra, nên từ hàng vạn năm nay, mật độ của ^{14}C trong khí quyển không đổi : cứ 10^{12} nguyên tử cacbon thì có 1 nguyên tử ^{14}C. Một cây còn sống, còn quá trình quang hợp, thì còn giữ tỉ lệ trên trong các thành phần chứa cacbon của nó. Nhưng nếu cây chết, thì nó không trao đổi gì với không khí nữa, ^{14}C vẫn phân rã mà không được bù lại, nên tỉ lệ của nó sẽ giảm, sau 5 730 năm chỉ còn một nửa ; độ phóng xạ H của nó cũng giảm tương ứng. Đo độ phóng xạ này thì tính được thời gian đã trôi qua từ khi cây chết. Động vật ăn thực vật nên tỉ lệ $\frac{^{14}C}{C}$ trong cơ thể cũng giảm như trên sau khi chết. Vì vậy, có thể xác định tuổi các mẩu xương động vật tìm được trong các di chỉ bằng phương pháp này (xem bài tập 2 ở Bài 55).



CÂU HỎI

1. Sự phóng xạ là gì ? Nêu các tia phóng xạ và bản chất của chúng.
2. Chu kì bán rã của các chất phóng xạ là gì ? Viết biểu thức toán học diễn tả định luật phóng xạ.
3. Thế nào là độ phóng xạ của một lượng chất phóng xạ ? Nêu hệ thức giữa độ phóng xạ và số nguyên tử (hạt nhân) trong lượng chất phóng xạ đó.



BÀI TẬP

1. Phóng xạ là hiện tượng một hạt nhân

A. phát ra một bức xạ điện từ.

B. tự phát phóng ra các tia α, β, γ, nhưng không thay đổi hạt nhân.

C. tự phát phóng ra tia phóng xạ và biến đổi thành một hạt nhân khác.

D. phóng ra các tia phóng xạ, khi bị bắn phá bằng những hạt chuyển động với tốc độ lớn.

2. Cho các tia anpha, bêta và gamma bay qua khoảng không gian giữa hai bản cực của một tụ điện thì

A. tia anpha lệch nhiều hơn cả, sau đến tia bêta và tia gamma.

B. tia anpha lệch về phía bản dương, tia gamma lệch về phía bản âm của tụ điện.

C. tia gamma không bị lệch.

D. tia bêta không bị lệch.

3. Chu kì bán rã của một chất phóng xạ là khoảng thời gian để

A. quá trình phóng xạ lại lặp lại như lúc ban đầu.

B. một nửa số nguyên tử chất ấy biến đổi thành chất khác.

C. khối lượng chất ấy giảm một phần nhất định, tuỳ thuộc vào cấu tạo của nó.

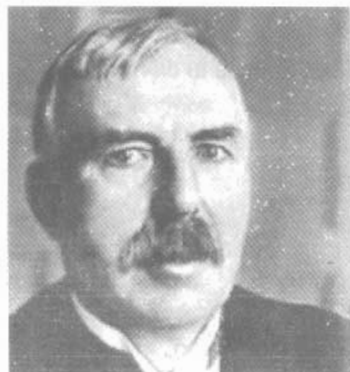
D. một nửa số nguyên tử chất ấy hết khả năng phóng xạ.

4. Chất phóng xạ pôlôni $^{210}_{84}Po$ phóng ra tia α và biến đổi thành chì $^{206}_{82}Pb$. Hỏi trong 0,168 g pôlôni có bao nhiêu nguyên tử bị phân rã sau 414 ngày đêm và xác định lượng chì được tạo thành trong khoảng thời gian nói trên. Cho biết chu kì bán rã của pôlôni là 138 ngày.

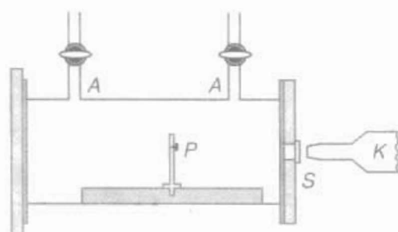
5. Tính khối lượng pôlôni ^{210}Po có độ phóng xạ 1 Ci.

54 PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

Với việc khám phá ra hiện tượng phóng xạ, ước mơ của các nhà giả kim thuật thời Trung cổ đã trở thành hiện thực : một nguyên tố này đã biến đổi thành một nguyên tố khác. Thế nhưng, liệu có cách nào tạo ra và điều khiển được các quá trình biến đổi hạt nhân như vậy hay không ?



RƠ-DƠ-PHO
(Ernest Rutherford, 1871 – 1937,
nhà vật lí người Anh,
giải Nô-ben về hoá học năm 1908)



Hình 54.1 Sơ đồ thí nghiệm của Rơ-dơ-pho.

P là nguồn phóng xạ pôlôni (^{210}Po) ;

A là đường nạp và hút khí vào trong bình chứa *P* ;

S là màn kẽm sunfua để phát hiện và ghi hạt ;

K là kính hiển vi để quan sát màn *S*.

1. Phản ứng hạt nhân

a) Thí nghiệm của Rơ-dơ-pho

Năm 1909, nhà bác học Rơ-dơ-pho đã có một phát minh nổi tiếng, đó là tạo ra được sự biến đổi hạt nhân. Ông cho chùm hạt α, phóng ra từ nguồn phóng xạ pôlôni, ^{210}Po, bắn phá nitơ có trong không khí (Hình 54.1). Kết quả là, nitơ bị phân rã và biến đổi thành ôxi và hiđrô. Quá trình dẫn đến sự biến đổi hạt nhân như vậy, gọi là *phản ứng hạt nhân*.

Phản ứng hạt nhân là mọi quá trình dẫn đến sự biến đổi hạt nhân.

Phản ứng hạt nhân thường được chia làm hai loại :

– Phản ứng tự phân rã của một hạt nhân không bền vững thành các hạt khác. Ví dụ : sự phóng xạ đã học ở Bài 53.

– Phản ứng trong đó các hạt nhân tương tác với nhau, dẫn đến sự biến đổi chúng thành các hạt khác. Ví dụ : phản ứng xảy ra trong thí nghiệm của Rơ-dơ-pho.

Thông thường, phản ứng hạt nhân có thể viết dưới dạng phương trình tổng quát sau đây :



$$A + B \rightarrow C + D \qquad (54.1)$$

trong đó *A*, *B* là các hạt tương tác, còn *C*, *D* là các hạt sản phẩm.

Trong trường hợp phóng xạ, phương trình có dạng :



$$A \rightarrow B + C \qquad (54.2)$$

trong đó A là hạt nhân mẹ, B là hạt nhân con và C là hạt α hoặc β.

b) Phản ứng hạt nhân tạo nên đồng vị phóng xạ nhân tạo

Năm 1934, hai ông bà Giô-li-ô Quy-ri dùng hạt α bắn phá một lá nhôm, lần đầu tiên đã tạo ra được đồng vị phóng xạ nhân tạo phôtpho $^{30}_{15}P$ có tính phóng xạ β^+. Từ đó đến nay, người ta đã tạo ra được hàng nghìn đồng vị phóng xạ nhân tạo nhờ các phản ứng hạt nhân.

2. Các định luật bảo toàn trong phản ứng hạt nhân

Phản ứng hạt nhân là một quá trình vật lí, trong đó hệ các hạt tương tác $A + B$ được xem là hệ kín, nên ta có các định luật bảo toàn sau đây :

a) Định luật bảo toàn số nuclôn (số khối A)

Trong phản ứng hạt nhân, tổng số nuclôn của các hạt tương tác bằng tổng số nuclôn của các hạt sản phẩm.

Bảo toàn số nuclôn cũng là bảo toàn số khối A.

b) Định luật bảo toàn điện tích

Tổng đại số các điện tích của các hạt tương tác bằng tổng đại số các điện tích của các hạt sản phẩm.

Bảo toàn điện tích cũng là bảo toàn nguyên tử số Z (quy ước êlectron có $Z = -1$).

c) Định luật bảo toàn năng lượng toàn phần (bao gồm động năng và năng lượng nghỉ)

Tổng năng lượng toàn phần của các hạt tương tác bằng tổng năng lượng toàn phần của các hạt sản phẩm.

Phản ứng hạt nhân phổ biến nhất là phản ứng trong đó có một hạt nhẹ A (gọi là *đạn*) tương tác với hạt nhân B (gọi là *bia*) và sản phẩm cũng là một hạt nhẹ D và một hạt nhân C :



$$A + B \rightarrow C + D \qquad (54.3)$$

Các hạt C và D có thể là nuclôn, phôtôn,...

Có những phản ứng hạt nhân xảy ra trong thiên nhiên. Chẳng hạn, do tác dụng của các tia vũ trụ, ở các tầng thấp của khí quyển Trái Đất có một lượng nhỏ cacbon phóng xạ ^{14}C được tạo ra.

C1 Nêu một ví dụ về phản ứng hạt nhân xảy ra trong thiên nhiên.

C2 So sánh phản ứng hạt nhân và phản ứng hoá học.

C3 Viết định luật bảo toàn số nuclôn và định luật bảo toàn điện tích cho phản ứng hạt nhân sau :



$$^{A_1}_{Z_1}A + ^{A_2}_{Z_2}B \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X + ^{A_4}_{Z_4}Y$$

C4 Áp dụng các định luật bảo toàn, hãy viết phương trình đầy đủ của phản ứng hạt nhân nhân tạo do hai ông bà Giô-li-ô Quy-ri thực hiện năm 1934. Cho biết hạt nhân có $Z = 14$ là hạt nhân silic (Si).

Như vậy, ở đây không có định luật bảo toàn khối lượng (nghỉ) của hệ như trong cơ học cổ điển.

d) Định luật bảo toàn động lượng

Vectơ tổng động lượng của các hạt tương tác bằng vectơ tổng động lượng của các hạt sản phẩm.

Nếu các hạt chuyển động với tốc độ rất lớn, thì ta phải xét sự bảo toàn của động lượng tương đối tính.

Các định luật bảo toàn trên đây đã được kiểm nghiệm là hoàn toàn đúng.

3. Năng lượng trong phản ứng hạt nhân

Trong mỗi phản ứng hạt nhân, năng lượng có thể bị hấp thụ hoặc được toả ra, mặc dù năng lượng toàn phần (bao gồm năng lượng nghỉ và động năng) được bảo toàn. Xét phản ứng hạt nhân $A + B \rightarrow C + D$. Tổng số nuclôn trong phản ứng được bảo toàn. Nhưng, vì các hạt nhân A, B, C, D có các độ hụt khối khác nhau, nên tổng khối lượng nghỉ $m_0 = m_A + m_B$ của các hạt nhân $A + B$ không bằng tổng khối lượng nghỉ $m = m_C + m_D$ của các hạt nhân sinh ra $C + D$. Có thể xảy ra hai trường hợp :

a) $m < m_0$

Giả sử các hạt nhân A và B có động năng không đáng kể. Vì năng lượng toàn phần được bảo toàn, nên theo hệ thức Anh-xtanh, *phản ứng toả một lượng năng lượng* bằng :

$$W = (m_0 - m)c^2 \qquad (54.4)$$

dưới dạng động năng của các hạt C và D, hoặc năng lượng của phôtôn γ. Năng lượng toả ra này thường gọi là *năng lượng hạt nhân.*

Trường hợp $m < m_0$ xảy ra, khi các hạt sinh ra có độ hụt khối lớn hơn các hạt ban đầu, nghĩa là các hạt sinh ra bền vững hơn các hạt ban đầu.

b) $m > m_0$

Trong trường hợp này, tổng năng lượng nghỉ của các hạt $A + B$, cũng tức là tổng năng lượng toàn phần của hệ $A + B$, nhỏ hơn tổng năng lượng nghỉ của các hạt sinh ra $C + D$. Do đó, theo định luật bảo toàn năng lượng, phản ứng không thể tự nó xảy ra được. Muốn cho phản ứng có thể xảy ra, ta *phải cung cấp cho các hạt A và B một năng lượng W dưới dạng động năng* (bằng cách bắn hạt A vào hạt B chẳng hạn). Đây là phản ứng thu năng lượng.

Vì các hạt sinh ra có tổng động năng là $W_đ$, nên năng lượng cần cung cấp W phải thoả mãn điều kiện :

$$W = (m - m_0)c^2 + W_đ \qquad (54.5)$$

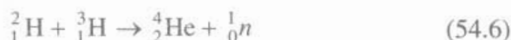
4. Hai loại phản ứng hạt nhân toả năng lượng

Ta đã biết, phản ứng hạt nhân toả năng lượng xảy ra khi các hạt sinh ra bền vững hơn (tức là có năng lượng liên kết riêng lớn hơn) so với các hạt tương tác ban đầu.

Kết quả tính toán năng lượng liên kết riêng của các hạt nhân có số nuclôn A khác nhau đã cho thấy có thể xảy ra hai loại phản ứng hạt nhân toả năng lượng như sau.

– Hai hạt nhân rất nhẹ (có số khối $A < 10$), như hiđrô, heli... hợp lại thành hạt nhân nặng hơn. Vì sự *tổng hợp hạt nhân* chỉ có thể xảy ra ở nhiệt độ cao nên phản ứng này gọi là *phản ứng nhiệt hạch*.

Ví dụ phản ứng hạt nhân :

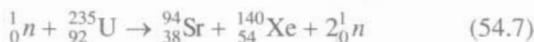


$$^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0n \qquad (54.6)$$

toả năng lượng khoảng 18 MeV. Ở đây, các hạt nhân ^2_1H và ^3_1H có năng lượng liên kết riêng tương ứng bằng 1,11 và 2,83 MeV/nuclôn ; còn hạt nhân ^4_2He có năng lượng liên kết riêng lớn hơn, bằng 7,04 MeV/nuclôn.

– Một hạt nhân nặng vỡ thành hai mảnh nhẹ hơn (có khối lượng cùng cỡ). Phản ứng này gọi là *phản ứng phân hạch*. Chẳng hạn, hạt nhân urani, plutoni... hấp thụ nơtron và vỡ thành hai hạt nhân có số khối A vào loại trung bình.

Ví dụ phản ứng hạt nhân :



$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow ^{94}_{38}\mathrm{Sr} + ^{140}_{54}\mathrm{Xe} + 2^{1}_{0}n \qquad (54.7)$$

toả năng lượng khoảng 185 MeV. Ở đây hạt nhân $^{235}_{92}\mathrm{U}$ có năng lượng liên kết riêng bằng 7,59 MeV/nuclôn, còn các hạt nhân $^{94}_{38}\mathrm{Sr}$ và $^{140}_{54}\mathrm{Xe}$ có năng lượng liên kết riêng lớn hơn, tương ứng bằng 8,59 và 8,29 MeV/nuclôn.

C5 Tính năng lượng toả ra khi 1 kg urani $^{235}\mathrm{U}$ bị phân hạch theo phản ứng (54.7).

CÂU HỎI

1. Thế nào là phản ứng hạt nhân ?
2. Nêu và giải thích các định luật bảo toàn trong phản ứng hạt nhân.
3. Điều kiện để một phản ứng toả năng lượng là gì ? Tại sao sự phóng xạ là phản ứng toả năng lượng ? Nêu ví dụ về hai phản ứng hạt nhân toả năng lượng.

BÀI TẬP

1. Trong một phản ứng hạt nhân, tổng khối lượng của các hạt tham gia

A. được bảo toàn. B. tăng. C. giảm. D. tăng hoặc giảm tuỳ theo phản ứng.

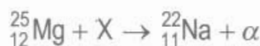
2. Trong dãy phân rã phóng xạ $^{235}_{92}\mathrm{X} \rightarrow ^{207}_{82}\mathrm{Y}$ có bao nhiêu hạt α và β được phát ra ?

A. 3α và 4β. B. 7α và 4β. C. 4α và 7β. D. 7α và 2β.

3. Xác định hạt X trong các phản ứng sau đây :

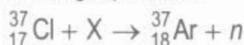


$^{19}_{9}\mathrm{F} + p \rightarrow ^{16}_{8}\mathrm{O} + \mathrm{X}$;



$^{25}_{12}\mathrm{Mg} + \mathrm{X} \rightarrow ^{22}_{11}\mathrm{Na} + \alpha$

4. Cho phản ứng hạt nhân :



$$^{37}_{17}\mathrm{Cl} + \mathrm{X} \rightarrow ^{37}_{18}\mathrm{Ar} + n$$

a) Xác định số khối, nguyên tử số và tên gọi hạt nhân X.

b) Phản ứng đó toả ra hay thu năng lượng. Tính độ lớn của năng lượng toả ra hay thu đó theo đơn vị jun.

Cho biết : m_{Ar} = 36,956889 u ; m_{Cl} = 36,956563 u ; m_n = 1,008665 u ; m_p = 1,007276 u.

55 BÀI TẬP VỀ PHÓNG XẠ VÀ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

Bài tập 1

Pôlôni $^{210}_{84}Po$ là nguyên tố phóng xạ α, nó phóng ra một hạt α và biến đổi thành hạt nhân con X. Chu kì bán rã của pôlôni là $T = 138$ ngày.

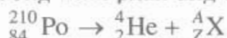
a) Viết phương trình phản ứng. Xác định cấu tạo, tên gọi của hạt nhân X.

b) Một mẫu pôlôni nguyên chất có khối lượng ban đầu 0,01 g. Tính độ phóng xạ của mẫu chất trên sau 3 chu kì bán rã. Cho biết số A-vô-ga-đrô $N_A = 6,022.10^{23}$ nguyên tử/mol.

c) Tính tỉ số giữa khối lượng pôlôni và khối lượng chất X trong mẫu chất trên sau 4 chu kì bán rã.

Bài giải

a) Kí hiệu hạt nhân con X là $^{A}_{Z}X$, phương trình phản ứng có dạng :



$$^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{A}_{Z}X$$

Áp dụng định luật bảo toàn số khối : $210 = 4 + A$ và định luật bảo toàn điện tích : $84 = 2 + Z$, ta tìm được : $A = 206$ và $Z = 82$. Vậy hạt nhân X là hạt nhân đồng vị chì $^{206}_{82}Pb$, có cấu tạo gồm 82 prôtôn và $N = 206 - 82 = 124$ nơtron.

b) Số hạt nhân pôlôni ban đầu là :

$$N_0 = N_A \frac{m_0}{A}$$

với $m_0 = 0,01$ g ; $A = 210$ g. Sau thời gian $t = 3T$ số hạt nhân pôlôni còn lại (chưa bị phân rã phóng xạ) là :

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} = \frac{N_0}{2^3} = \frac{N_0}{8} = \frac{N_A m_0}{8A}$$

Độ phóng xạ của mẫu pôlôni sau 3 chu kì bán rã là :

$$H = \lambda N = \frac{0,693}{T} N = \frac{0,693.N_A m_0}{8AT}$$

với $T = 138$ ngày $= 138.24.3\,600$ s, ta có :

$$H \approx 2,084.10^{11} \text{ Bq}$$

c) Số hạt nhân pôlôni còn lại sau $t = 4T$ là :

$$N' = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} = \frac{N_0}{2^4} = \frac{N_0}{16}$$

Số hạt nhân pôlôni đã bị phân rã phóng xạ sau thời gian t đó :

$$\Delta N = N_0 - N' = \frac{15N_0}{16}$$

Số hạt nhân ΔN này cũng chính bằng số hạt nhân X được tạo ra trong thời gian $t = 4T$. Vậy khối lượng chất X được tạo ra là :

$$m_X = \frac{A'}{N_A}\Delta N = \frac{15N_0.A'}{16N_A}$$

với $A' = 206$.

Khối lượng pôlôni còn lại sau thời gian $t = 4T$ là :

$$m' = \frac{A}{N_A}N' = \frac{AN_0}{16N_A}$$

Từ đó, ta tìm được tỉ số :

$$\frac{m'}{m_X} = \frac{A}{15A'} = \frac{210}{15.206} = 0{,}068$$

Bài tập 2

Hạt nhân $^{14}_{6}C$ là một chất phóng xạ, nó phóng ra tia β^- có chu kì bán rã là 5 730 năm.

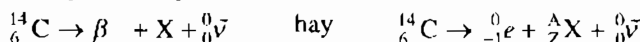
a) Viết phương trình của phản ứng phân rã.

b) Sau bao lâu lượng chất phóng xạ của một mẫu chỉ còn bằng $\frac{1}{8}$ lượng chất phóng xạ ban đầu của mẫu đó ?

c) Trong cây cối có chất phóng xạ $^{14}_{6}C$. Độ phóng xạ của một mẫu gỗ tươi và một mẫu gỗ cổ đại đã chết cùng khối lượng lần lượt là 0,250 Bq và 0,215 Bq. Xác định xem mẫu gỗ cổ đại đã chết cách đây bao lâu ?

Bài giải

a) Phương trình của phản ứng phân rã là :



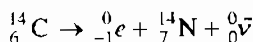
$$^{14}_{6}C \to \beta + X + ^{0}_{0}\tilde{\nu} \quad \text{hay} \quad ^{14}_{6}C \to ^{0}_{-1}e + ^{A}_{Z}X + ^{0}_{0}\tilde{\nu}$$

Áp dụng định luật bảo toàn số khối và bảo toàn điện tích, ta có :

$$14 = 0 + A \quad \Rightarrow \quad A = 14$$
$$6 = -1 + Z \quad \Rightarrow \quad Z = 7$$

Như vậy, hạt nhân X chính là hạt nhân nitơ $^{14}_{7}N$.

Vậy ta có phương trình :



$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{0}\bar{\nu}$$

b) Ta có :
$$m = \frac{m_0}{2^{\frac{t}{T}}} \Rightarrow \frac{m}{m_0} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}}$$

Theo đề bài :
$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{8}$$

Từ đó :
$$\frac{1}{2^{\frac{t}{T}}} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2^3} \Rightarrow \frac{t}{T} = 3 \Rightarrow t = 3T$$

và $t = 3.5730 = 17\ 190$ năm.

Vậy, sau $t = 17\ 190$ năm lượng chất phóng xạ chỉ còn bằng $\frac{1}{8}$ lượng chất phóng xạ ban đầu.

c) Kí hiệu t là khoảng thời gian mà mẫu gỗ cổ đại đã chết, ta có :

$$H = H_0 e^{-\lambda t}$$

với $H_0 = 0{,}250$ Bq ; $H = 0{,}215$ Bq.

Từ đó :
$$\lambda t = \ln\frac{H_0}{H} = \ln\frac{0{,}250}{0{,}215} = \ln(1{,}162) = 0{,}1508$$

và
$$t = \frac{0{,}1508}{\lambda} = \frac{0{,}1508\,T}{0{,}693} = \frac{0{,}1508.5730}{0{,}693}$$

hay $t \approx 1\ 250$ năm.

Bài tập 3

Bắn hạt α có động năng 4 MeV vào hạt nhân $^{14}_{7}N$ đứng yên thì thu được một hạt prôtôn và một hạt nhân X.

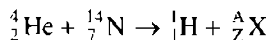
a) Tìm hạt nhân X và tính xem phản ứng đó toả ra hay thu vào năng lượng bao nhiêu MeV.

b) Giả sử hai hạt sinh ra có cùng tốc độ, tính động năng và tốc độ của prôtôn.

Cho : $m_\alpha = 4{,}0015$ u ; $m_X = 16{,}9947$ u ;
$m_N = 13{,}9992$ u ; $m_p = 1{,}0073$ u ;
$1\text{ u} \approx 931\text{ MeV/c}^2$; $c = 3.10^8$ m/s.

Bài giải

a) Phương trình phản ứng :



$$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{1}_{1}H + ^{A}_{Z}X$$

Áp dụng các định luật bảo toàn số khối và bảo toàn điện tích tìm được $A = 17$; $Z = 8$. Đó là hạt nhân $^{17}_{8}O$.

Ta thấy : $m_0 = m_\alpha + m_N = 18{,}0007$ u ; $m = m_p + m_X = 18{,}0020$ u.

Như vậy, $m_0 < m$ phản ứng thu năng lượng, với :

$$W = (m_0 - m)c^2 = -\ 1{,}2103 \text{ MeV}$$

b) Theo định luật bảo toàn năng lượng, ta có :

$$m_0c^2 + W_\alpha = mc^2 + W_O + W_p \qquad (1)$$

Trong đó W_α, W_O, W_p là động năng của hạt α, hạt nhân ^{17}O và hạt prôtôn. Vì hai hạt sinh ra, ^{17}O và prôtôn có cùng tốc độ, nên ta có :

$$\frac{W_O}{W_p} = \frac{m_O}{m_p} \Rightarrow W_O = \frac{m_O}{m_p}W_p \qquad (2)$$

Từ (1) và (2) thay số, ta được :

$$W_p = 0{,}156 \text{ MeV}$$

Suy ra tốc độ của prôtôn :

$$v_p = \sqrt{\frac{2W_p}{m_p}} \approx 5{,}5.10^6 \text{ m/s}$$

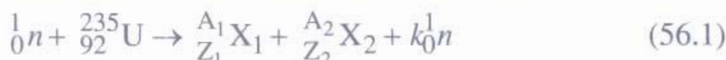
56 PHẢN ỨNG PHÂN HẠCH

1. Sự phân hạch

a) Sự phân hạch của urani

Năm 1939, hai nhà hoá học người Đức là Han và Xtơ-ra-xman (Otto Hann, Fritz Strassman) đã làm thí nghiệm dùng nơtron bắn vào urani. Kết quả cho thấy hạt nhân urani vỡ thành hai hạt nhân có khối lượng nhỏ hơn. Kèm theo quá trình phân hạch này có một số nơtron được giải phóng, bay ra. Các thí nghiệm tiếp theo đã cho thấy rằng phản ứng phân hạch có thể xảy ra theo nhiều cách vỡ khác nhau.

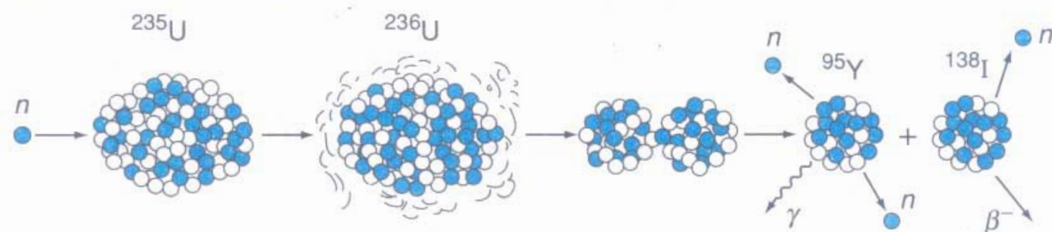
Dùng nơtron nhiệt (còn gọi là nơtron chậm) có năng lượng cỡ 0,01 eV bắn vào ^{235}U, ta có phản ứng phân hạch :



$$ {}_0^1n + {}_{92}^{235}U \rightarrow {}_{Z_1}^{A_1}X_1 + {}_{Z_2}^{A_2}X_2 + k\,{}_0^1n \qquad (56.1)$$

X_1 và X_2 là các hạt nhân có số khối A thuộc loại trung bình (từ 80 đến 160) và hầu hết là các hạt nhân phóng xạ ; k là số hạt nơtron trung bình được sinh ra. Phản ứng này sinh ra 2 hoặc 3 (trung bình 2,5) nơtron và toả ra năng lượng khoảng 200 MeV dưới dạng động năng của các hạt.

Khi hấp thụ ("bắt") nơtron, hạt nhân ^{235}U chuyển sang trạng thái kích thích (thành ^{236}U), trạng thái này không bền vững, và kết quả là xảy ra phân hạch, như ở ví dụ nêu trên Hình 56.1.



Hình 56.1 Ví dụ về một phản ứng phân hạch của ^{235}U.



Phương trình phân hạch : ${}_0^1n + {}_{92}^{235}U \rightarrow {}_{92}^{236}U \rightarrow {}_{39}^{95}Y + {}_{53}^{138}I + 3\,{}_0^1n$.

Hạt nhân ytri ^{95}Y phóng xạ γ và hạt nhân iôt ^{138}I phân rã β^-.

b) Đặc điểm chung của các phản ứng phân hạch

Sau mỗi phản ứng đều có hơn 2 nơtron được phóng ra, và mỗi phân hạch đều giải phóng ra năng lượng lớn. Người ta thường gọi đó là *năng lượng hạt nhân.*

Urani thiên nhiên rất giàu ^{238}U (khoảng 99,3%), chỉ có một lượng nhỏ ^{235}U (khoảng 0,7%). Đồng vị ^{235}U dễ dàng phân hạch khi hấp thụ nơtron có động năng dưới 0,1 eV (gọi là *nơtron chậm* hay *nơtron nhiệt*). Còn đồng vị ^{238}U khi hấp thụ nơtron nhiệt, thì cuối cùng biến đổi thành plutoni $^{239}_{94}Pu$. Đồng vị ^{238}U chỉ phân hạch khi hấp thụ nơtron nhanh, có động năng lớn hơn 1 MeV.

2. Phản ứng phân hạch dây chuyền

a) Các nơtron sinh ra sau mỗi phân hạch của urani (hoặc plutoni...) lại có thể bị hấp thụ bởi các hạt nhân urani (hoặc plutoni...) khác ở gần đó, làm xảy ra phân hạch tiếp theo và cứ thế, sự phân hạch tiếp diễn thành một dây chuyền. Số phân hạch tăng lên rất nhanh trong một thời gian rất ngắn, ta có *phản ứng phân hạch dây chuyền.*

b) Điều kiện xảy ra phản ứng phân hạch dây chuyền

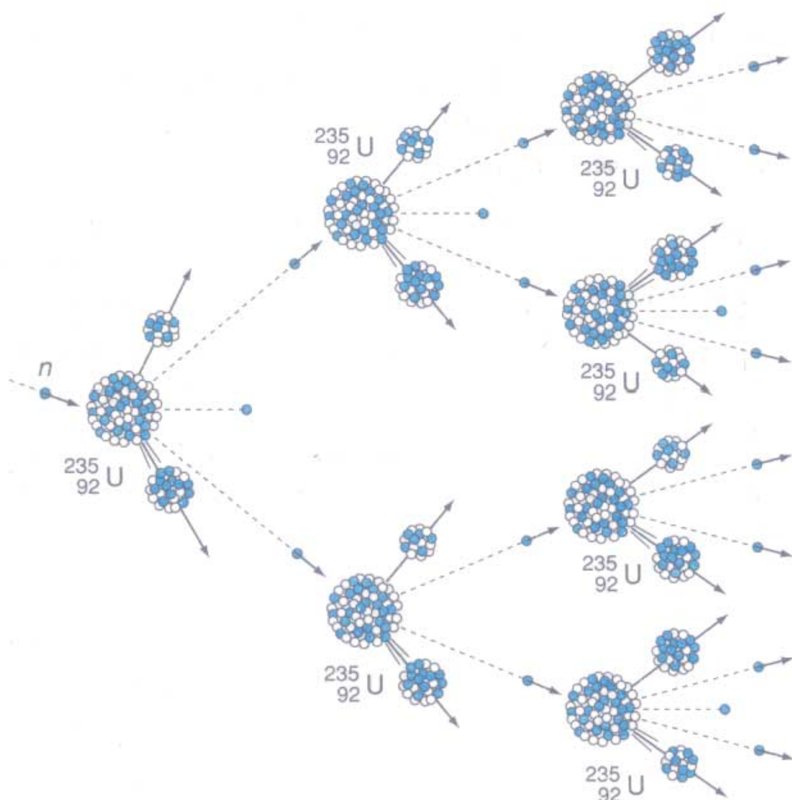
Các hạt nhân nặng khác, như $^{239}_{94}Pu$, $^{251}_{98}Cf$... cũng có thể bị phân hạch. Khi hấp thụ nơtron chậm, hạt nhân $^{239}_{94}Pu$ bị vỡ tương tự như ^{235}U, và có trung bình 2,89 nơtron được giải phóng.

Trên thực tế không phải mọi nơtron sinh ra đều có thể gây ra sự phân hạch, bởi vì có nhiều nơtron bị mất mát đi do nhiều nguyên nhân khác nhau : bị hấp thụ bởi các tạp chất trong nhiên liệu hạt nhân (trong khối urani hoặc plutoni...), hoặc bị ^{238}U hấp thụ mà không xảy ra phân hạch, hoặc bay ra ngoài thể tích khối urani (hoặc plutoni)... Thành thử, muốn có phản ứng dây chuyền ta phải xét tới số *nơtron trung bình k còn lại sau mỗi phân hạch* (còn gọi là *hệ số nhân nơtron*).

– Nếu $k < 1$ thì *phản ứng dây chuyền không xảy ra.*

– Nếu $k = 1$ thì phản ứng dây chuyền xảy ra với mật độ nơtron không đổi. Đó là *phản ứng dây chuyền điều khiển được (kiểm soát được)* xảy ra trong các lò phản ứng hạt nhân.

– Nếu $k > 1$ thì dòng nơtron tăng liên tục theo thời gian, dẫn tới vụ nổ nguyên tử. Đó là *phản ứng dây chuyền không điều khiển được.*



Hình 56.2 Sơ đồ phản ứng dây chuyền với ^{235}U (khi $k = 2$).

Để giảm thiểu số nơtron bị mất vì thoát ra ngoài nhằm đảm bảo có $k \geq 1$, thì khối lượng nhiên liệu hạt nhân phải có một giá trị tối thiểu, gọi là *khối lượng tới hạn* m_{th}. Với ^{235}U thì m_{th} vào cỡ 15 kg ; với ^{239}Pu thì m_{th} vào cỡ 5 kg.

3. Lò phản ứng hạt nhân

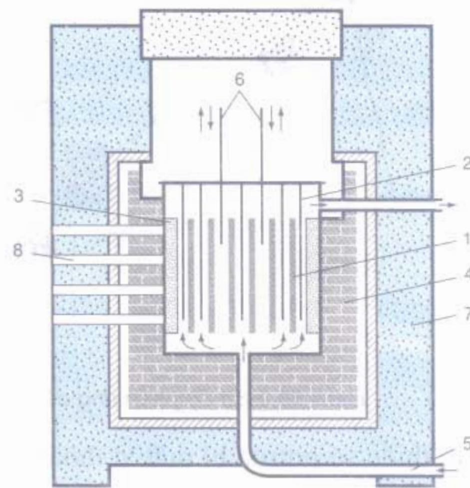
Phản ứng phân hạch dây chuyền tự duy trì, có điều khiển, được thực hiện trong thiết bị gọi là *lò phản ứng hạt nhân*. Lần đầu tiên, năm 1942, Féc-mi (Enrico Fermi) và các cộng sự của ông đã thực hiện thành công phản ứng này trong lò phản ứng ở trường đại học Si-ca-go (Mĩ). Tất cả các lò phản ứng hạt nhân đều có nhiều bộ phận chức năng giống nhau. Nhiên liệu phân hạch trong phần lớn các lò phản

Việc tách riêng ^{235}U từ urani thiên nhiên rất phức tạp và tốn kém, nên các lò phản ứng hạt nhân thường dùng nhiên liệu urani thiên nhiên đã *làm giàu* ^{235}U, tăng tỉ lệ ^{235}U đến vài hoặc vài chục phần trăm. Khi đó, khối lượng tới hạn của nhiên liệu này phải có trị số vào cỡ 15 kg.

Nhiên liệu hạt nhân thường được chế tạo dưới dạng các thanh dài và việc bố trí các thanh nhiên liệu trong lò phản ứng phải được tính toán rất cẩn thận. Thanh nhiên liệu và chất làm chậm nơtron (nước nặng D_2O, nước thường, than chì, berili...) phải được sắp đặt sao cho trong mỗi lần phân hạch bao giờ cũng có ít nhất một nơtron tiếp tục gây ra một phân hạch khác. Ngoài ra, cũng phải có cách điều khiển tốc độ các phân hạch xảy ra. Yêu cầu đặt ra là nhất thiết phải có khả năng khởi động từ từ phản ứng dây chuyền, điều chỉnh nó trong quá trình tiến triển, và làm phản ứng dừng lại khi cần. Việc điều khiển này được thực hiện với các thanh điều khiển chế tạo bằng vật liệu hấp thụ nơtron, như cađimi. Khi các thanh điều khiển được thả xen hoàn toàn vào vùng các thanh nhiên liệu, thì rất nhiều nơtron bị hấp thụ và phản ứng dây chuyền sẽ bị dừng lại. Khi rút từ từ các thanh điều khiển ra khỏi vùng hoạt động của lò phản ứng (vùng tâm lò phản ứng), thì phản ứng phân hạch lại bắt đầu và tiến dần đến mức tạo nên phản ứng dây chuyền tự duy trì. Động năng của các mảnh phân hạch và nơtron được biến đổi thành năng lượng nhiệt. Thành thử, lò phản ứng là một nguồn nhiệt khổng lồ có thể tạo ra những nhiệt độ rất cao. Nhiệt lượng toả ra được một chất lỏng làm nguội (chất tải nhiệt) tải đi theo các ống dẫn chạy qua vùng tâm lò. Trong nhiều trường hợp người ta dùng nước để làm chất làm chậm, đồng thời làm chất tải nhiệt.

ứng là ^{235}U hay ^{239}Pu. Để đảm bảo cho $k = 1$, trong các lò phản ứng người ta dùng các thanh điều khiển có chứa bo hay cađimi, là các chất có tác dụng hấp thụ nơtron.

Khi số nơtron trong lò tăng lên quá nhiều ($k > 1$), người ta cho các thanh điều khiển ngập sâu vào khu vực chứa nhiên liệu phân hạch để hấp thụ số nơtron thừa. Năng lượng toả ra từ lò phản ứng không đổi theo thời gian. Trên Hình 56.3 là sơ đồ lò phản ứng nơtron nhiệt.

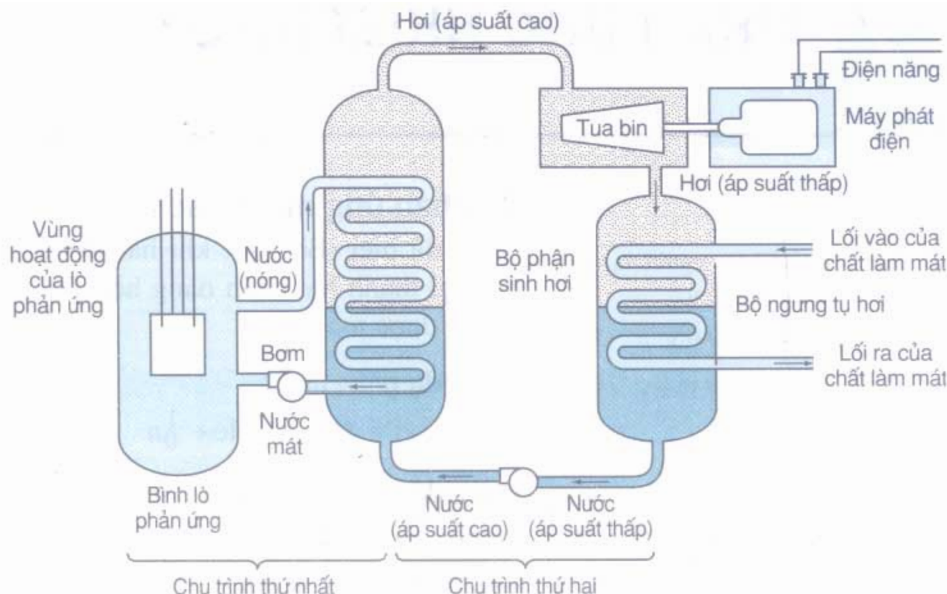


Hình 56.3 Sơ đồ lò phản ứng nơtron nhiệt.

1. Thanh nhiên liệu (urani) ; 2. Chất làm chậm ; 3. Vỏ kim loại ; 4. Lớp phản xạ nơtron bằng graphit ; 5. Ống làm lạnh và tải nhiệt ; 6. Thanh điều khiển ; 7. Thành bảo vệ phóng xạ ; 8. Đường ống làm thí nghiệm (dùng cho lò nghiên cứu).

4. Nhà máy điện hạt nhân

Bộ phận chính của nhà máy điện hạt nhân là lò phản ứng hạt nhân. Chất tải nhiệt sơ cấp, sau khi chạy qua vùng tâm lò, sẽ chảy qua bộ trao đổi nhiệt, cung cấp nhiệt cho lò sinh hơi. Hơi nước làm chạy tua bin phát điện giống như trong nhà máy điện thông thường. Trên Hình 56.4 là sơ đồ đơn giản hoá của một nhà máy điện hạt nhân.



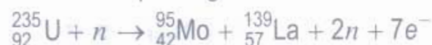
Hình 56.4 Sơ đồ đơn giản hoá của một nhà máy điện hạt nhân.

CÂU HỎI

1. Phản ứng phân hạch là gì ?
2. Phản ứng phân hạch dây chuyền là gì ? Với điều kiện nào thì nó xảy ra ?
3. Nêu các bộ phận chính của nhà máy điện hạt nhân.

BÀI TẬP

1. Sự phân hạch là sự vỡ một hạt nhân nặng
   A. thường xảy ra một cách tự phát thành nhiều hạt nhân nhẹ hơn.
   B. thành hai hạt nhân nhẹ hơn, do hấp thụ một nơtron.
   C. thành hai hạt nhân nhẹ hơn và vài nơtron, sau khi hấp thụ một nơtron chậm.
   D. thành hai hạt nhân nhẹ hơn, thường xảy ra một cách tự phát.
2. Đồng vị có thể phân hạch khi hấp thụ một nơtron chậm là
   A. $^{238}_{92}U$. B. $^{234}_{92}U$. C. $^{235}_{92}U$. D. $^{239}_{92}U$.
3. Gọi k là hệ số nhân nơtron, thì điều kiện cần và đủ để phản ứng dây chuyền có thể xảy ra là
   A. $k < 1$. B. $k = 1$. C. $k > 1$. D. $k \geq 1$.
4. Xét phản ứng phân hạch urani ^{235}U có phương trình :



$$^{235}_{92}U + n \rightarrow {}^{95}_{42}Mo + {}^{139}_{57}La + 2n + 7e^-$$

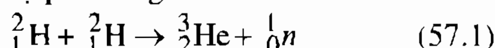
   Tính năng lượng mà một phân hạch toả ra.
   Cho biết : $m_U = 234,99$ u ; $m_{Mo} = 94,88$ u ; $m_{La} = 138,87$ u. Bỏ qua khối lượng của êlectron.

57 PHẢN ỨNG NHIỆT HẠCH

1. Phản ứng nhiệt hạch

Ta đã biết (Bài 54), khi hai hạt nhân nhẹ hợp lại thành hạt nhân nặng hơn thì có năng lượng được toả ra.

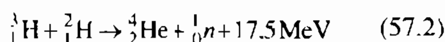
Ví dụ phản ứng :



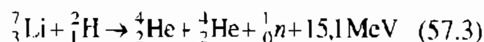
$$ {}^2_1\mathrm{H} + {}^2_1\mathrm{H} \rightarrow {}^3_2\mathrm{He} + {}^1_0n \qquad (57.1) $$

trong đó ${}^2_1\mathrm{H}$ là đồng vị nặng có trong thiên nhiên của hiđrô, gọi là đơteri (D). Phản ứng này toả ra năng lượng 4 MeV.

Ngoài phản ứng (57.1), người ta cũng quan tâm đến các phản ứng sau :



$$ {}^3_1\mathrm{H} + {}^2_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^1_0n + 17.5\,\mathrm{MeV} \qquad (57.2) $$



$$ {}^7_3\mathrm{Li} + {}^2_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^4_2\mathrm{He} + {}^1_0n + 15{,}1\,\mathrm{MeV} \qquad (57.3) $$

C1 Hãy tính năng lượng toả ra khi 1 kg heli được tạo thành theo phản ứng (57.2), cho biết $m_\alpha = 4{,}0015$ u. Hãy so sánh với năng lượng toả ra khi 1 kg ^{235}U bị phân hạch.

Vì các hạt nhân đều là những hạt tích điện dương, nên muốn cho hai hạt nhân nhẹ có thể hợp lại thành hạt nhân nặng hơn, ta phải cung cấp cho chúng một động năng đủ lớn để thắng lực đẩy Cu-lông giữa chúng, và cho chúng tiến lại gần nhau đến mức mà lực hạt nhân phát huy tác dụng, làm chúng kết hợp với nhau. Phép tính chứng tỏ rằng, muốn có được một động năng lớn như vậy, khí đơteri phải có nhiệt độ cỡ 10^9 K. Thực ra, chỉ cần nhiệt độ vào khoảng $10^7 \div 10^8$ K là phản ứng hạt nhân này đã có thể xảy ra rồi. Chính vì sự tổng hợp hạt nhân chỉ xảy ra ở nhiệt độ rất cao nên phản ứng này được gọi là *phản ứng nhiệt hạch*.

Ngoài điều kiện nhiệt độ cao, còn phải thoả mãn hai điều kiện nữa để phản ứng tổng hợp hạt nhân có thể xảy ra. Đó là : mật độ hạt nhân n phải đủ lớn, đồng thời thời gian Δt duy trì nhiệt độ cao (cỡ 10^8 K) cũng phải đủ dài. Lo-sơn (Lawson) đã chứng minh điều kiện :

$$ n\Delta t \geq 10^{14}\ \mathrm{s/cm^3} $$

2. Phản ứng nhiệt hạch trong vũ trụ

Phản ứng nhiệt hạch trong lòng Mặt Trời và các ngôi sao là nguồn gốc năng lượng của chúng.

3. Thực hiện phản ứng nhiệt hạch trên Trái Đất

a) Trên Trái Đất, con người đã thực hiện được phản ứng nhiệt hạch dưới dạng không kiểm soát được. Đó là sự nổ của bom nhiệt hạch hay bom H (còn gọi là *bom hiđrô* hay *bom khinh khí*).

b) Vì năng lượng toả ra trong phản ứng nhiệt hạch lớn hơn năng lượng toả ra trong phản ứng phân hạch rất nhiều, và vì nhiên liệu nhiệt hạch có thể coi là vô tận trong thiên nhiên, nên một vấn đề quan trọng đặt ra là : làm thế nào thực hiện được *phản ứng nhiệt hạch dưới dạng kiểm soát được*, để đảm bảo cung cấp năng lượng lâu dài cho nhân loại.

Vấn đề cơ bản phải giải quyết trong phản ứng nhiệt hạch là phải thực hiện được nhiệt độ cao, hàng chục triệu độ, trong một thể tích giới hạn chứa đầy đơteri, hoặc hỗn hợp đơteri-liti và duy trì được nhiệt độ đó trong khoảng thời gian cần thiết. Các nhà bác học đã và đang nghiên cứu các phương pháp hữu hiệu để thực hiện được nhiệt độ cao đó và đã cho thấy có khả năng thực hiện phản ứng nhiệt hạch trong thiết bị mang tên Tokamak. Tuy nhiên, hiện nay người ta cũng dự báo là phải có thời gian từ 25 ÷ 50 năm nữa để nghiên cứu và phát triển, thì năng lượng nhiệt hạch mới có thể được sử dụng phục vụ cho con người.

? CÂU HỎI

1. Phản ứng nhiệt hạch là gì ? Nêu điều kiện để phản ứng nhiệt hạch xảy ra.
2. Nêu các ưu điểm của năng lượng do phản ứng nhiệt hạch toả ra.

BÀI TẬP

1. Phản ứng nhiệt hạch là phản ứng hạt nhân

   A. có thể xảy ra ở nhiệt độ phòng.

   B. cần một nhiệt độ cao mới thực hiện được.

   C. hấp thụ một nhiệt lượng lớn.

   D. trong đó, hạt nhân của các nguyên tử bị nung chảy thành các nuclôn.

2. Phản ứng nhiệt hạch và phản ứng phân hạch là hai phản ứng hạt nhân trái ngược nhau vì

   A. một phản ứng toả và một phản ứng thu năng lượng.

   B. một phản ứng xảy ra ở nhiệt độ thấp, phản ứng kia ở nhiệt độ cao.

   C. một phản ứng là tổng hợp hai hạt nhân nhẹ thành một hạt nhân nặng hơn, phản ứng kia là sự vỡ một hạt nhân nặng thành hai hạt nhẹ hơn.

   D. một phản ứng diễn biến rất chậm, phản ứng kia rất nhanh.

TÓM TẮT CHƯƠNG IX

1. Hạt nhân nguyên tử được cấu tạo từ các prôtôn (mang một điện tích nguyên tố dương), và các nơtron (trung hoà về điện), gọi chung là nuclôn, liên kết với nhau bởi lực hạt nhân rất mạnh nhưng có bán kính tác dụng rất ngắn.

• Hạt nhân của nguyên tố có nguyên tử số Z thì chứa Z prôtôn và N nơtron : $A = Z + N$ gọi là số khối. Các nguyên tử, mà hạt nhân có cùng số prôtôn Z nhưng khác số nơtron N, gọi là các đồng vị.

• Đơn vị khối lượng nguyên tử u có trị số bằng $\frac{1}{12}$ khối lượng của đồng vị ${}^{12}_{6}C$; 1 u xấp xỉ bằng khối lượng của một nuclôn, nên hạt nhân có số khối A thì có khối lượng xấp xỉ bằng Au. Khối lượng hạt nhân còn có thể đo bằng đơn vị MeV/c^2.

• Khối lượng của một hạt nhân được tạo thành từ nhiều nuclôn thì bé hơn tổng khối lượng các nuclôn, hiệu số Δm gọi là *độ hụt khối*. Sự tạo thành hạt nhân toả năng lượng tương ứng $W_{lk} = \Delta m.c^2$, gọi là *năng lượng liên kết* của hạt nhân. Hạt nhân có năng lượng liên kết riêng $\frac{W_{lk}}{A}$ càng lớn thì càng bền vững.

2. Hạt nhân phóng xạ bị phân rã, phát ra các tia phóng xạ và biến đổi thành hạt nhân khác.

• Tia phóng xạ gồm nhiều loại : α, β^-, β^+, γ. Hạt α là hạt nhân của heli ${}^{4}_{2}He$.
Hạt β^- là các êlectron, kí hiệu là e^-. Hạt β^+ là pôzitron kí hiệu là e^+.
Tia γ là sóng điện từ có bước sóng rất ngắn (ngắn hơn tia X).

• Chu kì bán rã T của một chất phóng xạ là thời gian sau đó số hạt nhân của một lượng chất ấy chỉ còn bằng $\frac{1}{2}$ số hạt nhân ban đầu N_0. Số hạt nhân N hoặc khối lượng m chất phóng xạ giảm với thời gian t theo định luật hàm số mũ :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} ; m(t) = m_0 e^{-\lambda t}$$

λ là hằng số phóng xạ, tỉ lệ nghịch với chu kì bán rã : $\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}$

• Độ phóng xạ H của một nguồn phóng xạ có N nguyên tử bằng số phân rã trong 1 giây. Nó cũng bằng số nguyên tử (hạt nhân) N nhân với λ.

H giảm theo định luật phóng xạ giống như N :

$$H(t) = H_0 e^{-\lambda t}$$

3. Phản ứng hạt nhân là mọi quá trình dẫn đến sự biến đổi hạt nhân.

• Trong một phản ứng hạt nhân, các đại lượng sau đây được bảo toàn : số nuclôn, điện tích, năng lượng toàn phần và động lượng. Khối lượng không được bảo toàn.

• Trong phản ứng hạt nhân, tổng khối lượng m_0 của các hạt ban đầu có thể khác với tổng khối lượng m của các hạt sinh ra. Nếu $m < m_0$ thì phản ứng toả năng lượng. Nếu $m > m_0$ thì phản ứng chỉ xảy ra, nếu cung cấp năng lượng cho các hạt ban đầu : phản ứng thu năng lượng.

4. Có hai loại phản ứng hạt nhân toả ra năng lượng, gọi là năng lượng hạt nhân.

• Một hạt nhân rất nặng như urani, plutoni, khi hấp thụ một nơtron sẽ vỡ thành hai hạt nhân trung bình, cùng với 2 ÷ 3 nơtron (sự phân hạch). Nếu sự *phân hạch* có tính chất dây chuyền, thì nó toả ra năng lượng rất lớn. Sự phân hạch được khống chế trong lò phản ứng hạt nhân.

• Hai hạt nhân rất nhẹ, như các đồng vị nặng của hiđrô là *đơteri D và triti T*, có thể kết hợp với nhau thành một hạt nhân nặng hơn. Phản ứng này chỉ xảy ra ở nhiệt độ rất cao, nên gọi là *phản ứng nhiệt hạch*. Con người mới chỉ thực hiện được phản ứng này dưới dạng không kiểm soát được (bom H).

CHƯƠNG X

TỪ VI MÔ ĐẾN VĨ MÔ



Ảnh Thiên hà NGC 1232.

Chương này giới thiệu một số nét khái quát về thế giới vô cùng bé (hạt sơ cấp, hạt quac), về thế giới vô cùng lớn (hệ Mặt Trời, thiên hà, vũ trụ) và về thuyết Big Bang (Vụ nổ lớn), nhằm giải đáp phần nào các câu hỏi có liên quan đến các hiện tượng xảy ra trong các thế giới đó.

58 CÁC HẠT SƠ CẤP

Ta đã biết hạt nhân được cấu tạo bởi các prôtôn và nơtron. Liệu các hạt này có được cấu tạo từ các hạt nhỏ hơn hay không ? Giả thuyết Ghen-Man giúp ta trả lời câu hỏi đó.

1. Hạt sơ cấp

Cho đến nay, người ta đã phát hiện được các hạt có kích thước và khối lượng rất nhỏ, chẳng hạn như êlectron, prôtôn, nơtron, mêzôn, muyôn, piôn. Tất cả các hạt này được gọi là các *hạt sơ cấp* (đôi khi còn gọi là các *hạt cơ bản*). Nói chung, hạt sơ cấp có kích thước và khối lượng nhỏ hơn hạt nhân nguyên tử.



GHEN-MAN
(Murray Gell-Mann, sinh năm 1929, nhà vật lí người Mĩ, giải Nô-ben năm 1969)

2. Các đặc trưng của hạt sơ cấp

Sau đây là những *đặc trưng chính* của các hạt sơ cấp :

a) Khối lượng nghỉ m_0

Phôtôn có khối lượng nghỉ bằng không. Ngoài phôtôn, trong tự nhiên còn có các hạt khác có khối lượng nghỉ bằng 0, như hạt nơtrinô ν, hạt gravitôn. Thay cho m_0 người ta còn thường dùng đại lượng đặc trưng là *năng lượng nghỉ* E_0 tính theo hệ thức Anh-xtanh $E_0 = m_0c^2$. Chẳng hạn, êlectron có $m_0 = 9,1.10^{-31}$kg và $E_0 = 0,511$ MeV ; prôtôn có $m_0 = 1,6726.10^{-27}$ kg và $E_0 = 938,3$ MeV.

b) Điện tích

Hạt sơ cấp có thể có điện tích $Q = +1$ (tính theo đơn vị đo là điện tích nguyên tố e), hoặc $Q = -1$, hoặc $Q = 0$ (hạt trung hoà). Q được gọi là *số lượng tử điện tích*, biểu thị tính gián đoạn của độ lớn điện tích các hạt.

Vào những năm 30 của thế kỉ XX, người ta đã biết các nguyên tử đều được cấu tạo bởi êlectron, prôtôn, nơtron và từ năm 1905 đã phát hiện được sự tồn tại của phôtôn (lượng tử ánh sáng). Khi nghiên cứu phân rã phóng xạ bêta, người ta lại phát hiện thêm hạt nơtrinô. Tiếp theo, người ta lại phát hiện ra rằng trong tia vũ trụ còn có các hạt khác có khối lượng lớn hơn khối lượng của êlectron hàng trăm lần, gọi là các hạt mêzôn. Nhờ có các máy gia tốc hạt với năng lượng ngày càng cao, người ta đã phát hiện được rất nhiều hạt mới. Đó là hạt muyôn (kí hiệu μ), piôn (kí hiệu π), kaôn (kí hiệu K), hipêron. Tất cả các hạt nói trên được gọi là *các hạt sơ cấp*.

Không thể coi hạt sơ cấp là các hạt nhỏ nhất tạo nên vật chất, bởi vì như sẽ thấy ở dưới đây, với một số hạt trước đây vẫn thường được coi là hạt sơ cấp thì đến nay, các kết quả nghiên cứu lại cho thấy chúng được cấu tạo từ những hạt khác nhỏ hơn.

c) Spin

Mỗi hạt sơ cấp có momen động lượng riêng và momen từ riêng đặc trưng cho chuyển động nội tại và bản chất của hạt. Momen này được đặc trưng bằng *số lượng tử spin*, gọi tắt là *spin*, kí hiệu là s. Momen động lượng riêng của hạt bằng $s\frac{h}{2\pi}$ (h là hằng số Plăng). Chẳng hạn, prôtôn và nơtron có spin $s = \frac{1}{2}$, nhưng phôtôn có spin bằng 1, piôn có spin bằng 0.

d) Thời gian sống trung bình

Trong số các hạt sơ cấp, chỉ có bốn hạt không phân rã thành các hạt khác, gọi là các *hạt bền* (prôtôn, êlectron, phôtôn, nơtrinô). Tất cả các hạt còn lại là các *hạt không bền* và phân rã thành các hạt khác. Trừ nơtron có thời gian sống dài, khoảng 932 s, còn các hạt không bền khác đều có thời gian sống rất ngắn, cỡ từ 10^{-24} s. đến 10^{-6} s.

Bảng 58.1

Đặc trưng của một số hạt sơ cấp

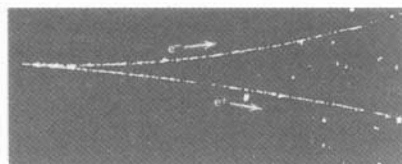
Tên hạt	Năng lượng ε (MeV)	Điện tích Q (e)	Spin s	Thời gian sống (giây)
Phôtôn	0	0	1	∞
Êlectron	0,511	–1	1/2	∞
Pôzitron	0,511	+1	1/2	∞
Nơtrinô ν	0	0	1/2	∞
Piôn π^+	139,6	+1	0	$2,6.10^{-8}$
Kaôn κ^0	497,7	0	0	$8,8.10^{-11}$
Prôtôn	938,3	+1	1/2	∞
Nơtron	939,6	0	1/2	932
Xicma Σ^+	1189	+1	1/2	$8,0.10^{-11}$
Ômêga Ω^-	1672	–1	3/2	$1,3.10^{-10}$

3. Phản hạt

a) Phần lớn các hạt sơ cấp đều tạo thành cặp, mỗi cặp gồm hai hạt có khối lượng nghỉ m_0 và *spin* như nhau, còn đặc trưng khác thì có trị số bằng nhau nhưng trái dấu. Chẳng hạn, êlectron và pôzitron có cùng khối lượng nghỉ bằng m_e và spin bằng $\frac{1}{2}$, nhưng có điện tích tương ứng bằng +1 và −1, tạo thành một cặp.

Trong mỗi cặp, có một hạt và một *phản hạt* của hạt đó. Chẳng hạn, pôzitron là phản hạt của êlectron. Phản hạt của prôtôn là phản prôtôn (gọi là antiprôtôn, kí hiệu $\tilde{p}$), có $Q = -1$.

b) Trong các quá trình tương tác của các hạt sơ cấp, có thể xảy ra hiện tượng *huỷ một cặp "hạt + phản hạt"* có khối lượng nghỉ khác 0 thành các phôtôn, hoặc cùng một lúc sinh ra một cặp "hạt + phản hạt" từ những phôtôn. Ví dụ như quá trình huỷ cặp hoặc sinh cặp "êlectron + pôzitron" (xem Hình 58.1) :



Hình 58.1 *Ảnh chụp vết đường đi trong từ trường của cặp êlectron - pôzitron được sinh ra do sự sinh cặp.*

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

4. Phân loại hạt sơ cấp

Người ta thường sắp xếp các hạt sơ cấp đã biết thành các loại sau, theo khối lượng nghỉ m_0 tăng dần.

a) **Phôtôn** (lượng tử ánh sáng) có $m_0 = 0$.

b) **Leptôn,** gồm các hạt nhẹ như êlectron, muyôn (μ^+, μ^-), các hạt tau (τ^+, τ^-), ...

c) **Mêzôn**, gồm các hạt có khối lượng trung bình trong khoảng $(200 \div 900)m_e$, gồm hai nhóm : mêzôn π *và mêzôn* K.

d) Barion, gồm các hạt nặng có khối lượng bằng hoặc lớn hơn khối lượng prôtôn. Có hai nhóm barion là *nuclôn* và *hipêron*, cùng các phản hạt của chúng. Năm 1964, người ta đã tìm ra một hipêron mới đó là hạt ômêga trừ (Ω^-).

Tập hợp các mêzôn và các barion có tên chung là các *hađrôn*.

5. Tương tác của các hạt sơ cấp

Các hạt sơ cấp tương tác với nhau như thế nào để tạo nên cấu trúc vật chất, tạo nên vũ trụ ? Có bốn loại tương tác cơ bản đối với các hạt sơ cấp :

a) Tương tác hấp dẫn. Đó là tương tác giữa các hạt vật chất có khối lượng. Bán kính tác dụng của lực hấp dẫn lớn vô cùng, nhưng so với các tương tác khác thì cường độ của tương tác hấp dẫn là rất nhỏ.

b) Tương tác điện từ. Đó là tương tác giữa các hạt mang điện, giữa các vật tiếp xúc gây nên ma sát... Cơ chế tương tác điện từ là sự trao đổi phôtôn giữa các hạt mang điện. Bán kính tác dụng của tương tác điện từ xem như lớn vô hạn. Tương tác điện từ mạnh hơn tương tác hấp dẫn khoảng 10^{37} lần.

c) Tương tác yếu. Đó là tương tác giữa các hạt trong phân rã β. Chẳng hạn, phân rã β^- là do tương tác yếu của bốn hạt notron, prôtôn, êlectron và phản notrinô theo phương trình :



$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$$

Tương tác yếu có bán kính tác dụng cỡ 10^{-18} m và có cường độ nhỏ hơn tương tác điện từ khoảng 10^{12} lần.

d) Tương tác mạnh. Đó là tương tác giữa các hađrôn, như tương tác giữa các nuclôn trong hạt nhân, tạo nên *lực hạt nhân*, cũng như tương tác dẫn đến sự sinh hạt hađrôn trong các quá trình va chạm của các hađrôn, tương tác giữa các hạt quac. Tương tác mạnh lớn hơn tương tác điện từ khoảng 100 lần và có bán kính tác dụng cỡ 10^{-15} m (bằng kích thước hạt nhân).

Mỗi loại tương tác có phạm vi tác dụng nhỏ hơn một khoảng cách gọi là *bán kính tác dụng của lực tương tác*. Ở khoảng cách lớn hơn bán kính tác dụng thì lực tương tác coi như bằng 0.

Bảng 58.2

Các loại tương tác cơ bản

(Để so sánh, lấy cường độ tương tác mạnh làm đơn vị đo)

Loại tương tác	Cường độ tương tác	Phạm vi (bán kính) tác dụng	Hạt truyền tương tác (hạt trường)
mạnh	1	10^{-15} m	gluôn, mêzôn ảo
điện từ	~10^{-2}	∞	phôtôn
yếu	10^{-14}	10^{-18} m	hạt $W^{\pm}$, Z^0
hấp dẫn	10^{-39}	∞	graviton

Mặc dù các tương tác có bản chất khác nhau nhưng bao giờ chúng cũng được thể hiện bằng cách trao đổi *hạt truyền tương tác*.

6. Hạt quac (quark)

a) Liệu các hạt sơ cấp có được cấu tạo bởi các hạt nhỏ hơn không ? Năm 1964, nhà vật lí Ghen-Man đã nêu ra giả thuyết : ***Tất cả các hađrôn đều cấu tạo từ các hạt nhỏ hơn, gọi là quac*** (tiếng Anh : quark).

b) Có sáu hạt quac kí hiệu là u, d, s, c, b và t. Cùng với các quac, có sáu phản quac với điện tích có dấu ngược lại. *Điều kì lạ là điện tích các hạt quac* và phản quac *bằng* $\pm\frac{e}{3}$, $\pm\frac{2e}{3}$, trái ngược với quan niệm trước đây cho rằng điện tích nguyên tố e là điện tích nhỏ nhất. Các hạt quac đã được quan sát thấy trong thí nghiệm, nhưng đều ở trạng thái liên kết ; *chưa quan sát được hạt quac tự do*.

c) Các barion là tổ hợp của ba quac. Chẳng hạn prôtôn được tạo nên từ ba quac (u, u, d), nơtron được tạo nên từ ba quac (u, d, d) (Hình 58.2).

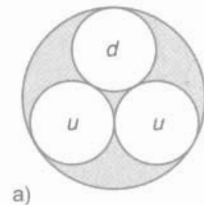
d) Một trong các thành công của giả thuyết về hạt quac là đã dự đoán được sự tồn tại của hạt ômêga trừ (Ω^-) (s, s, s), mà sau đó đã tìm ra được bằng thực nghiệm với đầy đủ đặc trưng như dự đoán.

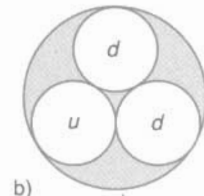
Cho đến nay, nhiều nhà vật lí đều thừa nhận sự tồn tại của hạt quac và như vậy, *các hạt thực sự là sơ cấp* (hiểu theo nghĩa là hạt không thể tách được thành các phần nhỏ hơn) chỉ gồm các quac, các leptôn và các hạt truyền tương tác.

Bảng 58.3

Điện tích của hạt quac

Kí hiệu	Điện tích (tính theo e)
u (tiếng Anh up : lên)	+2/3
d (down : xuống)	−1/3
s (strange : lạ)	−1/3
c (charm : duyên)	+2/3
b (bottom : đáy)	−1/3
t (top : đỉnh)	+2/3





Hình 58.2 Cấu tạo của prôtôn (a) và nơtron (b).

CÂU HỎI

1. Nêu những đặc trưng của các hạt sơ cấp.
2. Nêu các loại hạt sơ cấp.
3. Nêu giả thuyết về sự tồn tại của quac.

BÀI TẬP

1. Các loại hạt sơ cấp là

   A. phôtôn, leptôn, mêzôn và hađrôn.
   B. phôtôn, leptôn, mêzôn và barion.
   C. phôtôn, leptôn, barion và hađrôn.
   D. phôtôn, leptôn, nuclôn, hipêron.

2. Điện tích của mỗi quac, hay phản quac là một trong số các giá trị nào sau đây ?

   A. $\pm e$.
   B. $\pm\frac{e}{3}$.
   C. $\pm\frac{2e}{3}$.
   D. $\pm\frac{e}{3}$ và $\pm\frac{2e}{3}$.

59 MẶT TRỜI HỆ MẶT TRỜI

Nhờ các kính thiên văn ngày càng hiện đại, các con tàu và trạm vũ trụ, con người sống trên Trái Đất đã có được những hiểu biết ngày càng đầy đủ, sâu sắc về hệ Mặt Trời của chúng ta. Tuy nhiên, còn nhiều vấn đề được đặt ra cần nghiên cứu, chẳng hạn, "Còn có thể có thêm các thiên thể chuyển động quanh Mặt Trời ?", "Có bao nhiêu vệ tinh chuyển động quanh các hành tinh ?", "Liệu có sự sống trên Hoả tinh và trên hành tinh của các sao ?", "Sự hình thành và tiến hoá các thiên thể trong hệ Mặt Trời"...

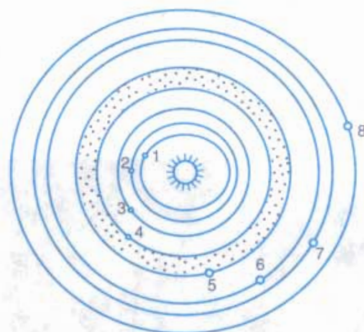
1. Cấu tạo và chuyển động của hệ Mặt Trời

a) Hệ Mặt Trời bao gồm

– *Mặt Trời* ở trung tâm hệ (và là thiên thể duy nhất nóng sáng) ;

– *Tám hành tinh lớn :* xung quanh đa số các hành tinh này còn có các vệ tinh chuyển động (Trái Đất có một vệ tinh là Mặt Trăng) ;

– Các hành tinh tí hon gọi là *tiểu hành tinh*, các *sao chổi, thiên thạch*.... Giữa quỹ đạo Hoả tinh và Mộc tinh người ta đã phát hiện được hàng ngàn tiểu hành tinh.



Hình 59.1 *Hệ Mặt Trời.*

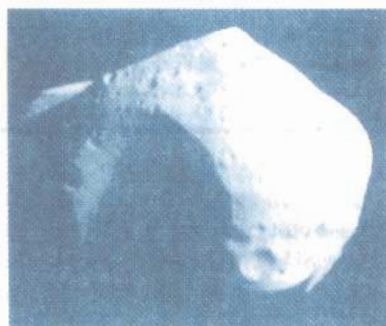
(1) Thuỷ tinh ; (2) Kim tinh ; (3) Trái Đất ; (4) Hoả tinh ; (5) Mộc tinh ; (6) Thổ tinh ; (7) Thiên Vương tinh ; (8) Hải Vương tinh.

Nếu kể từ Mặt Trời ra xa, thì tám hành tinh lớn lần lượt có tên gọi là : Thuỷ tinh (còn gọi là Sao Thuỷ), Kim tinh (Sao Kim), Trái Đất, Hoả tinh (Sao Hoả), Mộc tinh (Sao Mộc), Thổ tinh (Sao Thổ), Thiên Vương tinh (hay Thiên tinh) và Hải Vương tinh (hay Hải tinh).



Hình 59.2 *Thổ tinh với vành sáng mỏng bao quanh.*

Để đo khoảng cách từ các hành tinh đến Mặt Trời, người ta dùng *đơn vị thiên văn* (kí hiệu đvtv). 1 đvtv bằng khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời, xấp xỉ bằng 150 triệu kilômét.

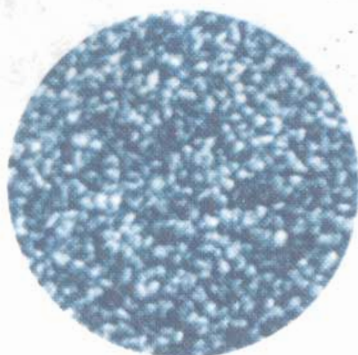


Hình 59.3 Tiểu hành tinh Mathilde.

Tiểu hành tinh Mathilde có kích thước khoảng 50 km, được chụp bởi trạm thăm dò vũ trụ NEAR (năm 1997) có hình dạng dị thường do có nhiều miệng lỗ tròn lớn được tạo thành (do va chạm).



Hình 59.4 Sao chổi Arend Roland năm 1957 với một đuôi hẹp và một đuôi rộng.



Hình 59.5 Quang cầu.

b) Điều đáng chú ý là tất cả các hành tinh đều chuyển động quanh Mặt Trời theo cùng một chiều (chiều thuận), và gần như trong cùng một mặt phẳng. Mặt Trời và các hành tinh đều quay quanh mình nó và đều quay theo chiều thuận (trừ Kim tinh). Toàn bộ hệ Mặt Trời quay quanh trung tâm Thiên Hà của chúng ta (xem Bài 60).

c) Biết chu kì và bán trục lớn của quỹ đạo của các hành tinh (xác định được bằng phương pháp thiên văn đo lường) từ định luật III Kê-ple người ta đã tìm thấy rằng khối lượng của Mặt Trời lớn hơn khối lượng của Trái Đất 333 000 lần, tức là bằng $1,99.10^{30}$ kg (!).

2. Mặt Trời

a) Cấu trúc của Mặt Trời

Nhìn tổng quát, Mặt Trời được cấu tạo gồm hai phần là quang cầu và khí quyển.

• **Quang cầu.** Nhìn từ Trái Đất ta thấy Mặt Trời có dạng một đĩa sáng tròn với bán kính góc 16 phút (Hình 59.5). Khối cầu nóng sáng nhìn thấy này được gọi là *quang cầu* (còn gọi là *quang quyển*, có bán kính khoảng 7.10^5 km).

Khối lượng riêng trung bình của vật chất trong quang cầu là 1400 kg/m^3. Căn cứ vào định luật bức xạ nhiệt người ta tính được nhiệt độ hiệu dụng của quang cầu vào khoảng 6000 K, còn nhiệt độ trong lòng Mặt Trời vào cỡ trên chục triệu độ.

• **Khí quyển *Mặt Trời*.** Bao quanh quang cầu có khí quyển Mặt Trời. Khí quyển Mặt Trời được cấu tạo chủ yếu bởi hiđrô, heli... Vì có nhiệt độ rất cao nên khí quyển có đặc tính rất phức tạp. Khí quyển được phân ra hai lớp có tính chất vật lí khác nhau là sắc cầu và nhật hoa.

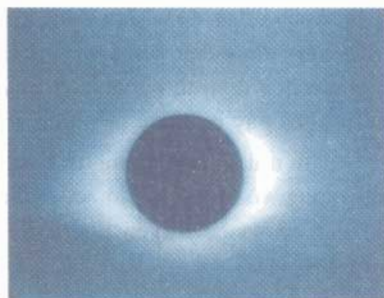
Sắc cầu là lớp khí nằm sát mặt quang cầu có độ dày trên 10 000 km và có nhiệt độ khoảng 4500 K.

Phía ngoài sắc cầu là *nhật hoa* (Hình 59.6). Vật chất cấu tạo nhật hoa ở trạng thái ion hoá mạnh (gọi là trạng thái plaxma), nhiệt độ khoảng 1 triệu độ. Nhật hoa có hình dạng thay đổi theo thời gian.

b) Năng lượng của Mặt Trời

Mặt Trời liên tục bức xạ năng lượng ra xung quanh. Lượng năng lượng bức xạ của Mặt Trời truyền vuông góc tới một đơn vị diện tích cách nó một đơn vị thiên văn trong một đơn vị thời gian được gọi là *hằng số Mặt Trời H*. Kết quả đo H ở các đài vật lí địa cầu trên thế giới và trên các trạm vũ trụ ngoài khí quyển cho thấy H có trị số như nhau và $H = 1\,360\ W/m^2$. Từ đó suy ra được công suất bức xạ năng lượng của Mặt Trời là $\mathscr{P} = 3,9.10^{26}$ W !

Kết quả đo hằng số Mặt Trời từ nhiều năm nay cho thấy trị số của H không thay đổi theo thời gian. Sở dĩ Mặt Trời duy trì được năng lượng bức xạ của mình là do trong lòng Mặt Trời đang diễn ra các phản ứng nhiệt hạch.



Hình 59.6 Nhật hoa chụp vào thời điểm có nhật thực toàn phần, ngày 3-11-1994.

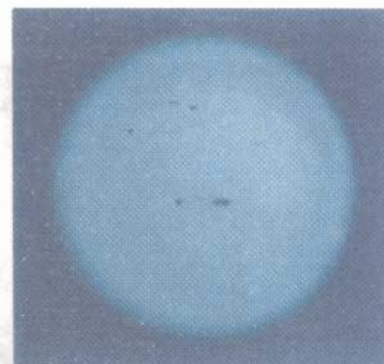
c) Sự hoạt động của Mặt Trời

• Qua các ảnh chụp Mặt Trời trong nhiều năm, người ta thấy quang cầu sáng không đều, có cấu tạo dạng hạt, gồm những hạt sáng biến đổi trên nền tối, do sự đối lưu từ trong lòng Mặt Trời đi lên mà thành (Hình 59.5). Tuỳ theo từng thời kì còn xuất hiện nhiều dấu vết khác : vết đen, bùng sáng, tai lửa.

Vết đen có màu sẫm tối, nhiệt độ vết đen vào khoảng 4 000 K (Hình 59.7a). Thường thì từ khu vực xuất hiện vết đen có kéo theo những *bùng sáng*. Từ các bùng sáng này phóng mạnh ra tia X và dòng hạt tích điện (được gọi là "gió Mặt Trời"). Ngoài ra còn có những *tai lửa*, đó là những "lưỡi" lửa phun cao trên sắc cầu (Hình 59.7b).

• Năm Mặt Trời có nhiều vết đen nhất xuất hiện được gọi là *Năm Mặt Trời hoạt động*. Năm Mặt Trời có ít vết đen xuất hiện nhất gọi là Năm Mặt Trời tĩnh.

Qua theo dõi từ đầu thế kỉ XIX đến nay, người ta thấy sự hoạt động của Mặt Trời diễn ra theo chu kì và có liên quan đến số vết đen trên Mặt Trời. Chu kì hoạt động của Mặt Trời có trị số trung bình là 11 năm.



a) Một nhóm vết đen khác thường xuất hiện ở Mặt Trời ngày 7-4-1997.



b) Tai lửa sắc nét, chứng tỏ có một từ trường tạo nên tai lửa.

Hình 59.7 Vết đen (a) và tai lửa (b).

3. Trái Đất

Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời theo một quỹ đạo gần tròn. Trục quay của Trái Đất quanh

Sự hoạt động của Mặt Trời có rất nhiều ảnh hưởng đến Trái Đất. Tia X và dòng hạt tích điện từ bùng sáng truyền tới Trái Đất gây ra nhiều tác động :

– Làm nhiễu loạn thông tin liên lạc bằng sóng vô tuyến ngắn, có trường hợp làm cho việc truyền thông tin bị mất hẳn.

– Làm cho từ trường Trái Đất biến thiên, gây ra bão từ (thể hiện qua sự rung của kim la bàn). Kết quả khảo sát cho thấy, bão từ xảy ra sau khoảng 20 giờ kể từ khi bùng sáng xuất hiện trên sắc cầu.



Hình 59.8 Ảnh Trái Đất chụp từ tàu vũ trụ.

Từ trường Trái Đất tác dụng lên các dòng hạt tích điện phóng ra từ Mặt Trời và từ vũ trụ (tia vũ trụ) làm cho các hạt này "tập trung" vào các khu vực ở trên cao so với mặt đất, tạo thành hai vành đai bao quanh Trái Đất, gọi là "vành đai phóng xạ" (vành trong ở độ cao 2 400 ÷ 5 600 km và vành ngoài ở độ cao 12000 ÷ 20000 km).

mình nó hợp với pháp tuyến của mặt phẳng quỹ đạo một góc 23°27'.

a) Cấu tạo của Trái Đất

Trái Đất có dạng phỏng cầu (hơi dẹt ở hai cực), bán kính ở xích đạo bằng 6 378 km, bán kính ở hai cực bằng 6 357 km. Khối lượng riêng trung bình là 5 520 kg/m^3 (Hình 59.8). Dựa vào các nghiên cứu tính chất truyền sóng địa chấn, người ta cho rằng Trái Đất có một cái lõi bán kính vào khoảng 3 000 km, có cấu tạo bởi chủ yếu là sắt, niken (nhiệt độ ở phần này vào khoảng 3 000 ÷ 4 000°C). Bao quanh lõi là lớp trung gian, và ngoài cùng là lớp vỏ dày khoảng 35 km được cấu tạo chủ yếu bởi đá granit. Vật chất ở trong vỏ có khối lượng riêng 3 300 kg/m^3.

b) Mặt Trăng – vệ tinh của Trái Đất

Mặt Trăng cách Trái Đất 384 000 km có bán kính 1 738 km, có khối lượng $7{,}35.10^{22}$ kg (Hình 59.9). Gia tốc trọng trường trên Mặt Trăng là 1,63 m/s^2. Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất với chu kì 27,32 ngày. Trong khi chuyển động quanh Trái Đất, Mặt Trăng còn quay quanh trục của nó với chu kì đúng bằng chu kì chuyển động quanh Trái Đất. Hơn nữa, do chiều tự quay cùng chiều với chiều quay quanh Trái Đất, nên Mặt Trăng luôn hướng một nửa nhất định của nó về phía Trái Đất.

Do lực hấp dẫn bé nên Mặt Trăng không giữ được khí quyển. Nói cách khác, trên Mặt Trăng không có khí quyển.

Bề mặt Mặt Trăng được phủ một lớp vật chất xốp. Trên bề mặt Mặt Trăng có các dãy núi cao, có các vùng bằng phẳng được gọi là biển (biển đá, không phải là biển nước), đặc biệt là có rất nhiều lỗ tròn ở trên các đỉnh núi (có thể đó là miệng núi lửa đã tắt, hoặc vết tích va chạm của các thiên thạch).

Nhiệt độ trong một ngày đêm trên Mặt Trăng chênh lệch nhau rất lớn ; ở vùng xích đạo của Mặt Trăng, nhiệt độ lúc giữa trưa là trên 100°C nhưng lúc nửa đêm lại là –150°C.

Mặt Trăng có nhiều ảnh hưởng đến Trái Đất, mà rõ rệt nhất là gây ra hiện tượng thuỷ triều. Cần lưu ý rằng khí quyển Trái Đất cũng bị tác dụng của lực "triều", dâng lên và hạ xuống với biên độ lớn hơn biên độ của thuỷ triều rất nhiều lần.



Hình 59.9 Ảnh Mặt Trăng chụp từ tàu vũ trụ.

Kính thiên văn vũ trụ trên quỹ đạo ngoài khí quyển Trái Đất trong những năm gần đây đã phát hiện nhiều thiên thể, hệ thiên thể ở rất xa trong vũ trụ, đồng thời cũng phát hiện được nhiều chi tiết trong hệ Mặt Trời, như phát hiện các vành đai quanh Mộc tinh, Thiên Vương tinh, Hải Vương tinh và nhiều vệ tinh nhỏ của các hành tinh nhóm Mộc tinh.

4. Các hành tinh khác. Sao Chổi. Thiên thạch

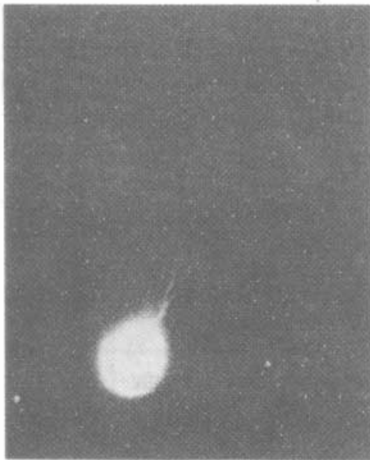
a) Các đặc trưng chính của tám hành tinh lớn được nêu ở bảng dưới đây (Bảng 59.1).

Bảng 59.1

Thiên thể	Khoảng cách đến Mặt Trời (đvtv)	Bán kính (km)	Khối lượng (so với Trái Đất)	Khối lượng riêng 10^3 kg/m^3	Chu kì quay quanh trục	Chu kì chuyển động quanh Mặt Trời	Số vệ tinh đã biết(1)
Thuỷ tinh	0,39	2 440	0,055	5,4	59 ngày	87,9 ngày	0
Kim tinh	0,72	6 056	0,81	5,3	243 ngày	224,7 ngày	0
Trái Đất	1	6 375	1	5,5	23h56ph	365,25 ngày (1 năm)	1
Hoả tinh	1,52	3 395	0,11	3,9	24h37ph	1,88 năm	2
Mộc tinh	5,2	71 490	318	1,3	9h50ph	11,86 năm	63
Thổ tinh	9,54	60 270	95	0,7	10h14ph	29,46 năm	34
Thiên Vương tinh	19,19	25 760	15	1,2	17h14ph	84,00 năm	27
Hải Vương tinh	30,07	25 270	17	1,7	16h11ph	164,80 năm	13

(1) Số liệu được công bố năm 2007.

Từ đặc điểm về khối lượng và kích thước, người ta thường chia các hành tinh làm hai nhóm. *Nhóm Trái Đất* gồm Trái Đất, Thuỷ tinh, Kim tinh, Hoả tinh là những hành tinh ở gần Mặt Trời, có kích thước nhỏ nhưng có khối lượng riêng lớn và có nhiệt độ bề mặt tương đối cao (vì ở gần Mặt Trời). *Nhóm Mộc tinh* gồm Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên Vương tinh, Hải Vương tinh là những hành tinh ở xa Mặt Trời, có kích thước rất lớn nhưng có khối lượng riêng nhỏ. Đặc điểm này cho thấy nhóm Mộc tinh có nhiệt độ bề mặt rất thấp (thường xuyên dưới −100°C) và được cấu tạo chủ yếu bởi các nguyên tố nhẹ.



Hình 59.10 Sao chổi Ha-lây (chụp ngày 9-12-1985).

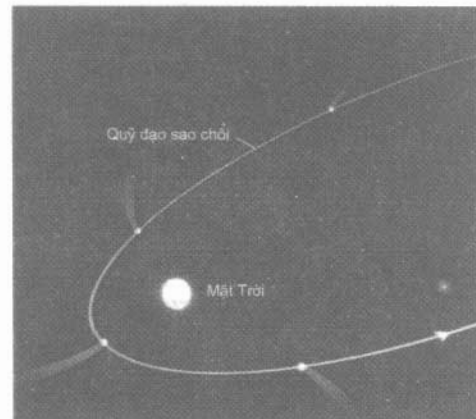
b) Sao chổi

Sao chổi là loại "hành tinh" chuyển động quanh Mặt Trời theo những quỹ đạo elip rất dẹt (viễn điểm có thể vượt ra ngoài quỹ đạo của hành tinh xa nhất). Hình 59.10 là ảnh chụp sao chổi Ha-lây (Halley). Đặc điểm của các sao chổi là có kích thước và khối lượng nhỏ (thường có đường kính vài kilômét), được cấu tạo bởi các chất dễ bốc hơi như tinh thể băng, amôniac, mêtan,... Chu kì chuyển động của sao chổi quanh Mặt Trời khoảng từ vài năm đến trên 150 năm.

Khi sao chổi tiến gần đến Mặt Trời, do sao chổi có khối lượng bé, các phân tử hơi chịu tác động của áp suất ánh sáng Mặt Trời lớn hơn lực hấp dẫn nên bị "thổi" ra tạo thành cái đuôi (Hình 59.11). Có những sao chổi thuộc loại thiên thể không bền vững.

c) Thiên thạch

Thiên thạch là những khối đá chuyển động quanh Mặt Trời với tốc độ tới hàng chục kilômét trên giây theo các quỹ đạo rất khác nhau. Khi một thiên thạch bay gần một hành tinh nào đó thì nó sẽ bị hút và có thể xảy ra sự va chạm của thiên thạch với hành tinh. Ban đêm ta có thể nhìn thấy những vệt sáng kéo dài vút trên nền trời, gọi là *sao băng*. Đó chính là các thiên thạch bay vào khí quyển Trái Đất, bị ma sát mạnh, nóng sáng và bốc cháy.



Hình 59.11 Đuôi sao chổi.

CÂU HỎI

1. Hệ Mặt Trời bao gồm các loại thiên thể nào ?
2. Nêu vắn tắt cấu trúc của Mặt Trời.
3. Nêu vắn tắt sự hoạt động của Mặt Trời và các tác động chính của nó đối với Trái Đất.
4. Nêu một số đặc điểm chính của Trái Đất và Mặt Trăng.

BÀI TẬP

1. Đường kính Trái Đất ở xích đạo có giá trị nào sau đây ?

   A. 1600 km. B. 3200 km. C. 6400 km. D. 12756 km.

2. Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo gần tròn có bán kính vào khoảng

   A. 15.10^5 km. B. 15.10^7 km. C. 15.10^8 km. D. 15.10^9 km.

Em có biết ?

Do khí quyển Trái Đất chứa CO_2 và có thêm H_2O, nên bức xạ hồng ngoại từ mặt đất bị hấp thụ bởi các phân tử trong khí quyển. Sau đó, các phân tử tái phát xạ bức xạ theo mọi hướng. Sự hấp thụ và tái phát xạ lặp lại nhiều lần. Nếu nhiệt độ ở phía dưới cao hơn ở phía trên thì bức xạ tán xạ dần lên phía trên. Cuối cùng, ở một độ cao nào đó trong khí quyển bức xạ có thể thoát vào vũ trụ. Nhiệt độ bề mặt được điều chỉnh sao cho năng lượng bức xạ tán xạ lên phía trên và thoát vào vũ trụ cân bằng với năng lượng ánh sáng của Mặt Trời bị hấp thụ bởi mặt đất. Sự chặn bức xạ thoát ra bởi khí quyển được gọi là *hiệu ứng nhà kính*. Nó sưởi nóng không chỉ mặt đất mà cả khí quyển phía trên mặt đất.

Hiệu ứng nhà kính trên Trái Đất có ảnh hưởng rất lớn đối với sự sống trên Trái Đất. Nhiệt độ trung bình ở bề mặt Trái Đất là 15°C. Nhờ đó, nước trên Trái Đất chủ yếu ở thể lỏng.

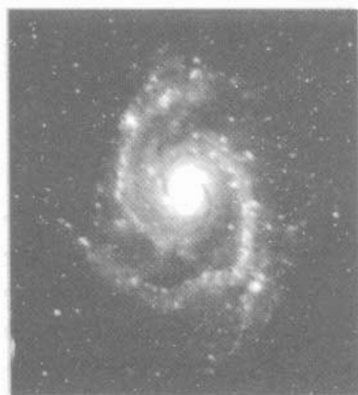
Thế nhưng, nếu khí hậu toàn cầu chỉ nóng hơn một chút (khoảng 5°C) cũng có thể ảnh hưởng lớn đối với nền văn minh nhân loại. Ví dụ, băng của châu Nam Cực có thể tan nhiều đến mức mực nước ở các đại dương sẽ dâng lên thêm nhiều mét. Khi đó, nước các đại dương sẽ tràn ngập thành phố Niu Oóc, Thành phố Hồ Chí Minh và nhiều thành phố ven biển khác. Các số liệu do các vệ tinh bay quanh Trái Đất thu được đang được sử dụng để tìm hiểu rõ hơn, xem băng của châu Nam Cực ra sao...

60 SAO THIÊN HÀ

Ngắm nhìn bầu trời ban đêm với dải Ngân Hà mờ ảo, những ngôi sao lấp lánh, ta có thể đặt ra biết bao câu hỏi : "Các sao có gì khác biệt nhau ?", "Liệu quanh mỗi sao có các hành tinh chuyển động ?", "Dải Ngân Hà mờ ảo có bao nhiêu sao ?".

1. Sao

Sao là một khối khí nóng sáng, giống như Mặt Trời. Vì các sao ở xa nên ta thấy chúng như những điểm sáng. Ngôi sao gần nhất (sao Cận Tinh trong chòm Bán Nhân Mã) cũng đã cách ta đến hàng chục tỉ kilômét. Còn ngôi sao ở xa nhất hiện nay đã biết được cách xa ta đến 14 tỉ năm ánh sáng (!) (1 năm ánh sáng ≈ $9,46.10^{12}$ km). Xung quanh một số sao còn có các hành tinh chuyển động, giống như hệ Mặt Trời. Khối lượng của các sao có giá trị nằm trong khoảng từ 0,1 lần khối lượng Mặt Trời đến vài chục lần (đa số khoảng 5 lần) khối lượng Mặt Trời. Bán kính của các sao có giá trị nằm trong một khoảng rất rộng, từ khoảng một phần nghìn lần bán kính Mặt Trời (*ở sao trắt*) đến gấp hàng nghìn lần bán kính Mặt Trời (*ở sao kềnh*).



Hình 60.1 *Thiên hà NGC2997.*

Năm ánh sáng là một đơn vị đo khoảng cách trong thiên văn. Nó bằng quãng đường mà ánh sáng truyền đi được trong một năm.

C1 Ta có nhận thấy các sao trên bầu trời ban đêm có màu sắc khác nhau không ? Theo em, màu sắc của sao thể hiện đặc trưng nào của trạng thái sao ?

Ta thấy các sao sáng khác nhau. Độ sáng mà ta nhìn thấy của một ngôi sao thực chất là độ rọi sáng lên con ngươi của mắt ta, phụ thuộc vào khoảng cách và độ sáng thực của mỗi sao. Độ sáng thực của mỗi sao lại phụ thuộc vào công suất bức xạ của nó.

2. Các loại sao

a) Đa số các sao *tồn tại trong trạng thái ổn định*, có kích thước, nhiệt độ... không đổi trong một thời gian dài. Mặt Trời là một trong số các sao này.

b) Ngoài ra, người ta đã phát hiện thấy có một số sao đặc biệt.

• *Sao biến quang* là sao có độ sáng thay đổi. Có hai loại :

– *Sao biến quang do che khuất* là một hệ sao đôi (gồm sao chính và sao vệ tinh), mỗi sao có độ sáng

không đổi, nhưng do sao vệ tinh chuyển động quanh sao chính, nên khi quan sát trong mặt phẳng chuyển động của sao vệ tinh, thì lần lượt sao vệ tinh che khuất sao chính hoặc bị khuất sau sao chính. Vì vậy, độ sáng tổng hợp mà ta thu được sẽ biến thiên có chu kì.

– *Sao biến quang do nén dãn* có độ sáng thay đổi thực sự theo một chu kì xác định.

Độ sáng của các sao rất khác nhau. Sao Thiên Lang (sao nhìn thấy sáng nhất trên bầu trời) có công suất bức xạ lớn hơn của Mặt Trời trên 25 lần. Sao kém sáng nhất có công suất bức xạ nhỏ hơn của Mặt Trời hàng vạn lần.

• *Sao mới* là sao có độ sáng tăng đột ngột lên hàng ngàn, hàng vạn lần, hoặc hàng triệu lần (*sao siêu mới*), sau đó từ từ giảm. Lí thuyết cho rằng sao mới, sao siêu mới là một pha đột biến trong quá trình tiến hoá của một hệ sao.

• *Punxa, sao nơtron* là sao bức xạ năng lượng dưới dạng những xung sóng điện từ rất mạnh (Hình 60.2).

Sao nơtron được cấu tạo bởi các hạt nơtron với mật độ cực kì lớn (10^{14} g/cm^3).

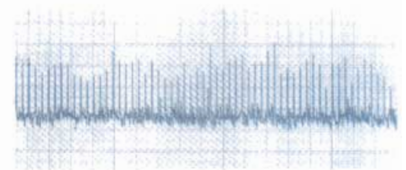
Punxa (pulsar) là lõi sao nơtron (với bán kính 10 km) tự quay với tốc độ có thể tới 640 vòng/s và phát ra sóng điện từ mạnh. Bức xạ thu được trên Trái Đất có dạng từng xung sóng giống như ánh sáng của một ngọn hải đăng mà tàu biển nhận được.

Nguồn gốc hình thành sao nơtron là như sau :

Các sao có khối lượng (bằng khoảng 10 lần khối lượng Mặt Trời thường chỉ "sống" được độ 100 triệu năm, rồi nổ tung thành "sao siêu mới". Sau đó trong lõi sao chỉ còn toàn là các hạt nơtron với mật độ cực lớn.

c) Ngoài ra, trong hệ thống các thiên thể trong vũ trụ còn có *lỗ đen* và *tinh vân.*

Lỗ đen là một thiên thể được tiên đoán bởi lí thuyết, cũng được cấu tạo bởi các nơtron, có trường hấp dẫn lớn đến nỗi thu hút mọi vật thể, kể cả ánh sáng. Vì vậy, thiên thể này tối đen, không phát xạ bất kì sóng điện từ nào. Người ta chỉ phát hiện được một lỗ đen nhờ tia X phát ra, khi lỗ đen đó hút một thiên thể gần đó.



Hình 60.2 *Xung sóng điện từ ghi được từ punxa 0329 + 54, thu ngày 22 - 6 - 1993.*

d) Ngoài ra, ta còn thấy có những "đám mây sáng", gọi là tinh vân. Đó là các đám bụi khổng lồ được rọi sáng bởi các ngôi sao ở gần đó, hoặc là các đám khí bị ion hoá được phóng ra từ một sao mới hay sao siêu mới.

3. Khái quát về sự tiến hoá của các sao

Tất cả các sao đều có lịch sử hình thành và phát triển của chúng.

Nhiệt độ bề mặt T_S của các sao rất khác nhau do cường độ phản ứng nhiệt hạch ở mỗi sao một khác. Sao "nóng" nhất có T_S = 50 000 K, sao này có màu xanh lam khi ta nhìn từ Trái Đất. Sao "nguội" nhất có T_S = 3 000 K, có màu đỏ. Mặt Trời có T_S = 6 000 K, có màu vàng.

Các kết quả nghiên cứu thiên văn cho biết các sao được cấu tạo từ một đám "mây" khí và bụi. Đám mây này vừa quay vừa co lại do tác dụng của lực hấp dẫn và sau vài chục nghìn năm, vật chất dần dần tập trung ở giữa, tạo thành một *tinh vân* dày đặc và dẹt như một cái bánh dày. Ở trung tâm tinh vân, nơi mật độ cao nhất, một ngôi sao nguyên thuỷ được tạo thành. Vì mới "ra đời", sao chưa nóng nên chỉ phát ra bức xạ ở miền hồng ngoại. Sao tiếp tục co lại và nóng dần (trong lòng sao bắt đầu xảy ra phản ứng nhiệt hạch), trở thành một ngôi sao sáng tỏ. Trong trường hợp sao là Mặt Trời thì vật chất ở phía ngoài đám bụi khí ngưng tụ và đọng lại thành một vòng đai, nơi những hành tinh sẽ được tạo ra và quay xung quanh Mặt Trời. Trong "thời gian tồn tại" của sao, các phản ứng nhiệt hạch xảy ra trong lòng ngôi sao làm tiêu hao dần hiđrô có trong sao, tạo thành heli và các nguyên tố (cacbon, ôxi, sắt...).

Khi "nhiên liệu" trong sao cạn kiệt, sao biến thành các thiên thể khác. Lí thuyết cho thấy các sao có khối lượng cỡ Mặt Trời có thể "sống" tới 10 tỉ năm, sau đó biến thành sao trắt trắng (hay sao lùn), là sao có bán kính chỉ bằng một phần trăm hay một phần nghìn lần bán kính Mặt Trời nhưng lại có nhiệt độ bề mặt tới 50 000 K. Còn các sao có khối lượng lớn hơn Mặt Trời (từ năm lần trở lên) thì chỉ "sống" được khoảng 100 triệu năm, nhiệt độ của sao giảm dần và sao trở thành sao kềnh đỏ, sau đó sao tiếp tục tiến hoá và trở thành một sao nơtron (punxa), hoặc một lỗ đen.

4. Thiên hà

Các sao tồn tại trong vũ trụ thành những hệ thống tương đối độc lập đối với nhau. Hệ thống sao gồm nhiều loại sao và tinh vân gọi là *thiên hà*.

a) Các loại thiên hà

Qua các kính thiên văn, các thiên hà hiện ra dưới nhiều dạng. Tuy nhiên, về đại thể có ba loại thiên hà chính :

– Thiên hà có hình dạng dẹt như cái đĩa có những cánh tay xoắn ốc, chứa nhiều khí, gọi là *thiên hà xoắn ốc*.

– Thiên hà hình elip, chứa ít khí và có khối lượng trải ra trên *một dải rộng*, gọi là *thiên hà elip*. Có một loại thiên hà elip lớn là nguồn phát sóng vô tuyến điện rất mạnh.

– Thiên hà không có hình dạng xác định, trông như những đám mây, gọi là *thiên hà không định hình* (hay *thiên hà không đều*), ví dụ hai thiên hà Ma-gien-lăng.

Đường kính của các thiên hà vào khoảng 100 000 năm ánh sáng.

Toàn bộ các sao trong mỗi thiên hà đều quay xung quanh trung tâm thiên hà.



Hình 60.3 Thiên hà NGC5102.

C2 Thiên hà NGC5102 (Hình 60.3) và thiên hà NGC2997 (Hình 60.1) thuộc loại thiên hà nào ?

b) Thiên Hà của chúng ta. Ngân Hà

• Thiên Hà của chúng ta (*Thiên Hà* viết hoa) là loại thiên hà xoắn ốc, có đường kính khoảng 100 nghìn năm ánh sáng và có khối lượng bằng khoảng 150 tỉ lần khối lượng Mặt Trời. Nó là một hệ phẳng giống như một cái đĩa, dày khoảng 330 năm ánh sáng, chứa vài trăm tỉ ngôi sao (xem Hình 60.4a, b). Hệ Mặt Trời nằm trong một cánh tay xoắn ở rìa Thiên Hà, cách trung tâm trên 30 nghìn năm ánh sáng và quay quanh tâm Thiên Hà với tốc độ khoảng 250 km/s. Giữa các sao có bụi và khí. Phần trung tâm Thiên Hà có dạng một hình cầu dẹt, gọi là vùng lồi trung tâm (dày khoảng 15 000 năm ánh sáng), được tạo bởi các sao "già", khí và bụi. Ngay ở trung tâm Thiên Hà có một nguồn phát xạ hồng ngoại và cũng là nguồn phát xạ sóng vô tuyến điện ; nguồn này phát ra năng lượng tương đương với độ sáng của chừng 20 triệu ngôi sao như Mặt Trời và phóng ra một luồng gió mạnh.



a)

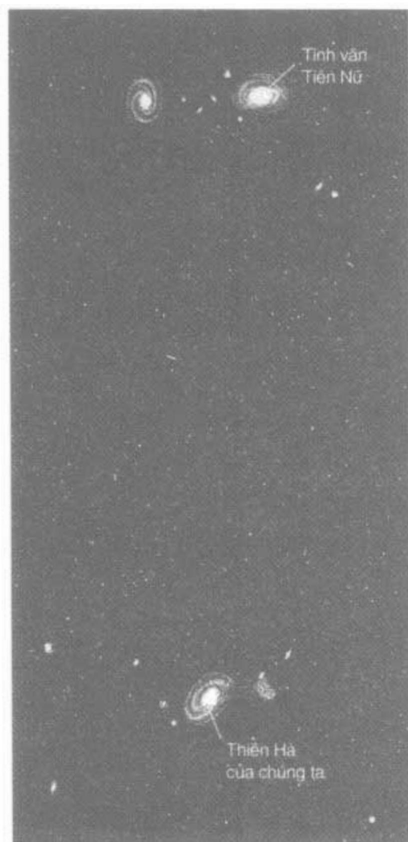


b)

Hình 60.4 Ảnh Thiên Hà của chúng ta (a) và mô hình phác hoạ Thiên Hà của chúng ta (nhìn ngang) (b).

• Từ Trái Đất, chúng ta chỉ nhìn được hình chiếu của Thiên Hà trên vòm trời, như một dải sáng trải ra

trên bầu trời đêm, thường được gọi là *dải Ngân Hà*. Mặt phẳng trung tâm của dải Ngân Hà trở nên tối do một làn bụi dài. Vào đầu đêm mùa hè, ta thấy dải Ngân Hà nằm trên nền trời sao theo hướng Đông Bắc – Tây Nam.



Hình 60.5 *Nhóm thiên hà địa phương.*

c) Nhóm thiên hà. Siêu nhóm thiên hà

• Vũ trụ có hàng trăm tỉ thiên hà, các thiên hà thường cách nhau khoảng mười lần kích thước của chúng. Các thiên hà có xu hướng hợp lại với nhau thành *nhóm thiên hà* (hay *đám thiên hà*) gồm từ vài chục đến hàng vài nghìn thiên hà. Thiên Hà của chúng ta và các thiên hà lân cận khác thuộc về *Nhóm thiên hà địa phương*, gồm khoảng 20 thành viên, chiếm một thể tích không gian có đường kính gần một triệu năm ánh sáng. Nhóm này bị chi phối chủ yếu bởi ba thiên hà xoắn ốc lớn. Một là thiên hà Tiên Nữ (còn gọi là Tinh vân Tiên Nữ, kí hiệu M31 hay NGC224), là thành viên có khối lượng tương đương với khối lượng của Thiên Hà của chúng ta (bằng khoảng 200 tỉ khối lượng Mặt Trời) (xem Hình 60.5). Hai là, Thiên Hà của chúng ta. Ba là Thiên hà Tam giác, kí hiệu M33. Các thành viên còn lại của Nhóm là các thiên hà elip và các thiên hà không định hình *tí hon* với khối lượng nhỏ hơn nhiều. Một số thiên hà của nhóm địa phương đã được phát hiện nhờ sự phát bức xạ vô tuyến của chúng.

• Khoảng năm chục nhóm nhỏ các thiên hà đã được phát hiện ở xung quanh Nhóm thiên hà địa phương. Ở xa hơn, ở khoảng cách cỡ 50 triệu năm ánh sáng, là Nhóm Trinh Nữ (Virgo) chứa hàng nghìn thiên hà trải rộng trên bầu trời trong chòm sao Trinh Nữ. Các nhóm thiên hà lại tập hợp thành *Siêu nhóm thiên hà* hay *Đại thiên hà*. Chẳng hạn *Siêu nhóm thiên hà địa phương* có tâm nằm ở Nhóm Trinh Nữ và chứa tất cả các nhóm bao quanh, trong đó có Nhóm thiên hà địa phương của chúng ta (Hình 60.6).



Hình 60.6 *Nhóm Trinh Nữ nằm ở trung tâm của Siêu nhóm thiên hà địa phương.*

• Một thiên hà có thể va chạm với thiên hà láng giềng trong nhóm thiên hà. Đặc biệt là ở trong các nhóm thiên hà khoảng cách giữa các thiên hà nhỏ nên xác suất tương tác giữa các thiên hà khá lớn. Có thuyết cho rằng, các thiên hà elip

được tạo ra do sự va chạm giữa hai thiên hà xoắn ốc trong nhóm thiên hà. Sau khi va chạm, khí trong thiên hà bị thoát ra ngoài nên thiên hà elip ít chứa khí.

Việc tìm hiểu sự hình thành của thiên hà vẫn đang là một vấn đề nghiên cứu có tính thời sự. Nhiều giả thuyết cho rằng, trong vũ trụ nguyên thuỷ không đồng đều có hình thành những đám mây vật chất nguyên thuỷ có khối lượng bằng vài trăm triệu lần khối lượng Mặt Trời, đó là các thiên hà tí hon, là mầm mống của những thiên hà sau này. Cả hệ thiên hà quay xung quanh trục thẳng góc với mặt phẳng thiên hà.

CÂU HỎI

1. Sao là gì ? Nêu những đặc trưng chính của sao.
2. Nêu vắn tắt một số loại sao đặc biệt.
3. Thiên hà là gì ? Nêu các loại thiên hà.
4. Thiên Hà của chúng ta thuộc loại gì ? Trình bày sơ lược về Thiên Hà của chúng ta.

BÀI TẬP

1. Mặt Trời thuộc loại sao nào sau đây ?

   A. Sao trắt trắng.

   B. Sao nơtron.

   C. Sao khổng lồ (hay sao kềnh đỏ).

   D. Sao trung bình giữa sao trắt trắng và sao khổng lồ.

2. Đường kính của một thiên hà vào cỡ

   A. 10 000 năm ánh sáng. B. 100 000 năm ánh sáng.

   C. 1 000 000 năm ánh sáng. D. 10 000 000 năm ánh sáng.

Em có biết ?

• Có nhiều bằng chứng cho thấy, trong vũ trụ còn có nhiều loại vật chất không phát bức xạ và không quan sát thấy, gọi là *"vật chất tối"*. Có lí thuyết cho rằng, trên 90% khối lượng của vũ trụ là "vật chất tối" không phát hiện được.

Một trong những thành phần nhỏ của "vật chất tối" có thể là những "sao lùn nâu". Đó là loại thiên thể ở trong trạng thái nửa hành tinh, có khối lượng bằng một phần nghìn khối lượng Mặt Trời, nhưng có kích thước bằng Mộc tinh. Vì khối lượng sao quá nhỏ nên trong sao lùn nâu không xảy ra được phản ứng nhiệt hạch, và sao chỉ phát một ít bức xạ vùng hồng ngoại.

Một số nhà thiên văn khác lại cho rằng những đám khí rất lạnh, ở nhiệt độ 3 K, trong đó chủ yếu chỉ có phân tử hiđrô, cũng có thể là những "vật chất tối" trong vòng cầu bao quanh các thiên hà. Đây cũng là một phần rất nhỏ của "vật chất tối".

• **Quaza** (quasar, chuẩn sao), được phát hiện vào những năm 1960, là một loại thiên thể ở xa bên ngoài Thiên Hà của chúng ta, có hình ảnh không trải rộng ra như hình ảnh của một thiên hà mà có dạng gần tròn, làm ta liên tưởng tới các ngôi sao thông thường trong dải Ngân Hà. Mặc dù các quaza hiện ra như những vật thể rất mờ trên bầu trời, nhưng thực tế, chúng sáng gấp hàng ngàn lần các thiên hà sáng và thuộc vào loại những thiên thể sáng nhất trong vũ trụ. Các quaza là những nguồn phát xạ tia X và sóng vô tuyến điện rất mạnh. Điều khá kì lạ là công suất phát xạ của các quaza lớn đến mức mà người ta cho rằng các phản ứng nhiệt hạch không đủ để cung cấp năng lượng trong quá trình phát xạ này. Ở khoảng cách càng xa Thiên Hà của chúng ta thì mật độ quaza càng lớn. Sự kiện này được dùng làm cơ sở thực nghiệm cho thuyết Big Bang.

61 THUYẾT BIG BANG

Những câu hỏi từ xa xưa, như vũ trụ từ đâu sinh ra, sinh ra từ bao giờ, tiến hoá ra sao... đang dần dần được Thiên văn học ngày nay trả lời. Trong vài chục năm gần đây, kết hợp với thành tựu của Vật lí học hạt sơ cấp, Vật lí thiên văn đã đạt được một bước tiến quan trọng trong việc nghiên cứu nguồn gốc và sự tiến hoá của vũ trụ. Đó là sự ra đời của thuyết Big Bang.

1. Các thuyết về sự tiến hoá của vũ trụ

Khi nghiên cứu nguồn gốc và sự tiến hoá của vũ trụ (vũ trụ luận), đã có hai trường phái khác nhau.



GA-MỐP
(George Gamow, 1904 – 1968, nhà vật lí người Mĩ, gốc Nga)

a) Một trường phái do nhà vật lí người Anh Hoi-lơ (Fred Hoyle, 1915 – 2000) khởi xướng, cho rằng vũ trụ ở trong "trạng thái ổn định", vô thuỷ vô chung, không thay đổi từ quá khứ đến tương lai. Vật chất được tạo ra một cách liên tục.

b) Trường phái khác lại cho rằng vũ trụ được tạo ra bởi một vụ nổ "cực lớn, mạnh" cách đây khoảng 14 tỉ năm, hiện nay đang tiếp tục dãn nở và loãng dần. Vụ nổ nguyên thuỷ này được đặt tên là Big Bang (Vụ nổ lớn). Năm 1948, các công trình nghiên cứu lí thuyết của nhà vật lí người Mĩ gốc Nga Ga-mốp đã tiên đoán vết tích của bức xạ vũ trụ nguyên thuỷ, lúc đầu nóng ít nhất hàng triệu tỉ độ, ngày càng nguội dần vì vũ trụ dãn nở.

Để khẳng định xem, "trong số hai thuyết nêu trên, thuyết nào miêu tả sự tiến hoá của vũ trụ đúng hơn", cần phải căn cứ vào các kết quả nghiên cứu và quan sát thiên văn nhờ các phương tiện và thiết bị hiện đại.

• Khi nhận được một tín hiệu từ một thiên hà cách ta 10 tỉ năm ánh sáng thì điều đó có nghĩa là ánh sáng đã phải mất 10 tỉ năm để đi từ thiên hà đó tới ta. Nói khác đi, thông tin mà ta nhận được là thông tin của 10 tỉ năm về trước !

• Theo hiệu ứng Đốp-ple với sóng ánh sáng thì nếu một nguồn phát ra một bức xạ đơn sắc bước sóng λ, chuyển động với tốc độ u đối với máy thu thì bước sóng bức xạ mà máy thu nhận được sẽ thay đổi một lượng $\Delta\lambda$, với $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{u}{c}$, với $u > 0$ nếu nguồn ra xa máy thu, và $u < 0$ nếu nguồn lại gần máy thu. Do đó, so với khi nguồn đứng yên thì vạch quang phổ mà máy thu nhận được, khi nguồn ra xa máy thu, bị dịch chuyển một giá trị $\Delta\lambda > 0$, tức là về phía màu đỏ của quang phổ.

2. Các sự kiện thiên văn quan trọng

a) Vũ trụ dãn nở

Quan sát được các thiên hà càng xa bao nhiêu, chúng ta càng thăm dò được trạng thái của vũ trụ trong quá khứ xa xưa bấy nhiêu. Các quan sát thiên văn dựa vào các phương tiện và dụng cụ ngày càng hiện đại cho thấy, số các thiên hà trong quá khứ nhiều hơn hiện nay. Điều đó chứng tỏ rằng, vũ trụ không ở trong trạng thái ổn định mà đã có biến đổi : Vũ trụ trong quá khứ "đặc" hơn bây giờ. Năm 1929, nhà thiên văn học người Mĩ Hớp-bơn (Edwin Powell Hubble, 1889 – 1953), dựa vào hiệu ứng Đốp-ple đã phát hiện thấy rằng, các thiên hà xa xăm rải rác khắp bầu trời đều chạy ra xa hệ Mặt Trời của chúng ta. Hơn nữa, ông còn tìm thấy rằng, *tốc độ chạy ra xa của thiên hà tỉ lệ với khoảng cách d giữa thiên hà và chúng ta* (định luật Hớp-bơn) :

$$v = Hd \qquad (61.1)$$

với H là một hằng số, gọi là hằng số Hớp-bơn có trị số $H = 1{,}7.10^{-2}$ m/(s.năm ánh sáng) (1 năm ánh sáng = $9{,}46.10^{12}$ km).

Điều phát hiện của Hớp-bơn đã chứng tỏ các thiên hà dịch chuyển ra xa nhau, đó là bằng chứng của sự kiện thiên văn quan trọng : vũ trụ đang dãn nở.

b) Bức xạ "nền" vũ trụ

Năm 1965, hai nhà vật lí thiên văn người Mĩ, Pen-di-át và Uyn-xơn đã tình cờ phát hiện ra một bức xạ "lạ" khi họ đang thử máy thu tín hiệu trên bước sóng 3 cm. Sau đó, họ đã khẳng định được rằng, bức xạ này được phát đồng đều từ phía trong không trung và tương ứng với bức xạ phát ra từ vật có nhiệt độ khoảng 3 K (chính xác là 2,735 K) ; bức xạ này được gọi tắt là *bức xạ* 3 K. Kết quả thu được đã chứng tỏ bức xạ đó là bức xạ được phát ra từ mọi phía trong vũ trụ (nay đã nguội) và được gọi là *bức xạ "nền" vũ trụ*.

c) Kết luận

Hai sự kiện thiên văn quan trọng nêu trên và một số sự kiện thiên văn khác đã minh chứng cho tính đúng đắn của thuyết Big Bang.

C1 Tính tốc độ chạy ra xa của một thiên hà cách chúng ta ha trăm nghìn năm ánh sáng.

3. Thuyết Big Bang

Chúng ta hãy xem điều gì đã xảy ra ở các khoảng thời gian khác nhau, kể từ thời điểm bắt đầu Vụ nổ lớn (Big Bang).

Theo thuyết Big Bang, vũ trụ bắt đầu dãn nở từ một "điểm kì dị". Muốn tính tuổi của vũ trụ, ta phải lập luận để đi ngược thời gian đến "điểm kì dị", lúc tuổi và bán kính của vũ trụ là số không để làm mốc (gọi là *điểm zero Big Bang*). Tại điểm này các định luật vật lí đã biết và thuyết tương đối rộng (thuyết hấp dẫn) không áp dụng được. Vật lí học hiện đại dựa vào vật lí hạt sơ cấp đã giúp ta trở lại quá khứ, nhưng chỉ ước đoán được những sự kiện đã xảy ra bắt đầu từ thời điểm $t_p = 10^{-43}$ s sau Vụ nổ lớn ; thời điểm này được gọi là *thời điểm Plăng*. *Ở thời điểm Plăng*, kích thước vũ trụ là 10^{-35} m, nhiệt độ là 10^{32} K và khối lượng riêng là 10^{91} kg/cm^3 ! Các trị số cực nhỏ và cực lớn này, được gọi là *trị số Plăng* (vì chúng được tính ra từ hằng số cơ bản Plăng h). Các trị số này được coi là đã miêu tả đầy đủ và đúng những điều kiện vật lí, hoá học ban đầu của vũ trụ nguyên thuỷ. Từ thời điểm này, vũ trụ dãn nở rất nhanh, nhiệt độ của vũ trụ giảm dần. Tại thời điểm Plăng, vũ trụ bị tràn ngập bởi các hạt có năng lượng cao như êlectron, nơtrinô và quac. Năng lượng của vũ trụ vào thời điểm Plăng ít nhất phải bằng 10^{15} GeV.

Các nuclôn được tạo ra sau Vụ nổ một giây.



PEN-DI-ÁT
(Arno Penzias, sinh năm 1933, nhà vật lí thiên văn người Mĩ, phát hiện bức xạ "nền" vũ trụ, giải Nô-ben năm 1978)



UYN-XƠN
(Robert Woodrow Wilson, sinh năm 1936, nhà vật lí thiên v người Mĩ, phát hiện bức xạ "nền vũ trụ, giải Nô-ben năm 1978)

HO-KING
(Stephen Hawking, sinh năm 1942, nhà thiên văn người Anh, giải thưởng An-be Anh-xtanh năm 1978, tác giả cuốn sách nổi tiếng "Lược sử thời gian – từ Vụ nổ lớn đến các lỗ đen")

Ba phút sau đó mới xuất hiện các hạt nhân nguyên tử đầu tiên.

Ba trăm nghìn năm sau mới xuất hiện các nguyên tử đầu tiên.

Ba triệu năm sau mới xuất hiện các sao và thiên hà.

Tại thời điểm t = 14 tỉ năm, vũ trụ ở trạng thái hiện nay, với nhiệt độ trung bình T = 2,7 K.

Những sự kiện và những số liệu đã nêu trên đây chưa phải là hoàn toàn chính xác, còn có những chỗ sẽ phải bổ sung hoặc hiệu chỉnh. Tuy nhiên, về đại thể, quá trình trên đây được coi là đáng tin cậy.

Thuyết Big Bang chưa giải thích được hết các sự kiện quan trọng trong vũ trụ và đang được các nhà vật lí thiên văn phát triển và bổ sung.

CÂU HỎI

1. Nêu hai sự kiện thiên văn quan trọng xác nhận tính đúng đắn của thuyết Big Bang.
2. Nêu vắn tắt một số điều xảy ra ở các thời điểm quan trọng sau Vụ nổ lớn.

BÀI TẬP

1. Theo thuyết Big Bang, các nguyên tử đầu tiên xuất hiện vào thời điểm nào sau đây ?

   A. t = 3 000 năm. B. t = 30 000 năm.

   C. t = 300 000 năm. D. t = 3 000 000 năm.

2. Các vạch quang phổ của các thiên hà

   A. đều bị lệch về phía bước sóng ngắn.

   B. đều bị lệch về phía bước sóng dài.

   C. hoàn toàn không bị lệch về phía nào cả.

   D. có trường hợp lệch về phía bước sóng ngắn, có trường hợp lệch về phía bước sóng dài.

 **BÀI ĐỌC THÊM**

LIỆU CÓ - HOẶC ĐÃ TỪNG CÓ - SỰ SỐNG TRÊN HOẢ TINH HAY KHÔNG ?

Một thế kỉ trước, một số nhà thiên văn khi quan sát Hoả tinh qua kính thiên văn đã có cảm tưởng là đã nhìn thấy những đường mảnh, hẹp trên Hoả tinh. Họ cho rằng những đường này là những con kênh đào. Họ cũng có cảm tưởng là đã nhìn thấy màu lục ở gần các cực màu trắng. Họ giải thích màu lục này là màu thực vật. Tất cả những đường và màu sắc đã đánh lừa con mắt và trí óc của chúng ta. Trên Hoả tinh không có các kênh đào và không có thực vật. Nhưng do sự gợi ý (sai lầm) về các kênh đào và thực vật trên Hoả tinh, nhiều cuốn tiểu thuyết đã được viết, kể về cuộc sống trên Hoả tinh và vấn đề sự sống trên Hoả tinh vẫn thu hút sự quan tâm của đông đảo quần chúng.

Vậy, hiện nay liệu có sự sống ở trên Hoả tinh hay không ?

Bức xạ tử ngoại của Mặt Trời đã giết chết mọi vi khuẩn ở trên bề mặt Hoả tinh, nhưng chúng ta có thể hi vọng là có những vi khuẩn sống trong lòng đất. Năm 1976, hai tàu vũ trụ mang tên Viking đã đổ bộ xuống Hoả tinh. Một cánh tay dài vươn ra từ con tàu, xúc một ít "đất" và đưa vào con tàu. Nhưng đáng tiếc là đã không tìm thấy bằng chứng về vi khuẩn đã chết hoặc còn sống.

Năm 1996, có một bài báo nói rằng, một thiên thạch có nguồn gốc từ Hoả tinh được tìm thấy ở châu Nam Cực có chứa những dấu hiệu của sự sống nguyên thuỷ trên Hoả tinh vào thời xa xưa. Điều này đã gây ra một dư luận quốc tế rất mạnh mẽ. Nhờ những nghiên cứu tiếp theo, kết luận nêu trên không còn được mọi người tin nữa. Nhưng sự quan tâm của mọi người về khả năng có sự sống trên Hoả tinh vẫn còn. Nó dẫn đến các kế hoạch phóng tiếp một số con tàu vũ trụ tới Hoả tinh trong những năm tới. Năm 2004, NASA (cơ quan nghiên cứu vũ trụ của Mĩ) đã phóng các tàu vũ trụ với rôbôt tự hành Spirit và Opportunity, nhờ đó đã khám phá được nhiều bằng chứng hơn về khả năng có nước trên Hoả tinh hay không.



ÓM TẮT CHƯƠNG X

1. Hạt sơ cấp là hạt nhỏ hơn hạt nhân nguyên tử, có những đặc trưng chính là : khối lượng nghỉ m_0 (hay năng lượng nghỉ E_0), điện tích Q, spin s và momen từ riêng, thời gian sống trung bình.

Phần lớn các hạt sơ cấp đều tạo thành cặp, gồm hạt và phản hạt. Phản hạt có khối lượng nghỉ và spin như hạt, còn đặc trưng khác thì bằng nhau về độ lớn và trái dấu. Trong quá trình tương tác của các hạt sơ cấp, có thể xảy ra hiện tượng huỷ một cặp "hạt + phản hạt" thành các hạt khác, hoặc cùng một lúc sinh ra một cặp "hạt + phản hạt".

Người ta thường sắp xếp các hạt sơ cấp đã biết thành các loại : phôtôn, leptôn, mêzôn và barion. Mêzôn và barion còn có tên chung là hađrôn.

Tất cả các hađrôn đều cấu tạo từ các hạt nhỏ hơn, gọi là *quac*. Có sáu loại quac (kí hiệu là u, d, s, c, b, t) và phản quac mang điện tích $\pm\frac{e}{3}$, $\pm\frac{2e}{3}$. Các hạt quac đã được quan sát thấy trong thí nghiệm, nhưng đều ở trạng thái liên kết.

2. Hệ Mặt Trời gồm Mặt Trời, tám hành tinh lớn, hàng ngàn tiểu hành tinh, các sao chổi... Tất cả các hành tinh đều chuyển động quanh Mặt Trời theo cùng một chiều (chiều thuận) và gần như trong cùng một mặt phẳng. Mặt Trời và các hành tinh đều quay quanh mình nó và đều quay theo chiều thuận (trừ Kim tinh).

Mặt Trời được cấu tạo từ trong ra ngoài gồm hai phần : quang cầu và khí quyển. Khí quyển Mặt Trời được phân ra hai lớp : sắc cầu ở trong và nhật hoa ở ngoài. Ở thời kì hoạt động của Mặt Trời, trên Mặt Trời có xuất hiện nhiều hiện tượng như vết đen, bùng sáng, tai lửa.

3. Sao là thiên thể nóng sáng, giống như Mặt Trời, nhưng ở rất xa chúng ta. Có một số sao đặc biệt : sao biến quang, sao mới, punxa, sao nơtron,...

Thiên hà là một hệ thống sao gồm nhiều loại sao và tinh vân. Có ba loại thiên hà chính : thiên hà xoắn ốc, thiên hà elip, thiên hà không định hình. Thiên Hà của chúng ta thuộc loại thiên hà xoắn ốc, chứa vài trăm tỉ sao, có đường kính khoảng 100 nghìn năm ánh sáng, là một hệ phẳng giống như một cái đĩa. Hệ Mặt Trời của chúng ta cách trung tâm Thiên Hà khoảng 30 nghìn năm ánh sáng.

4. Thuyết Big Bang cho rằng vũ trụ được tạo ra bởi một Vụ nổ lớn cách đây khoảng 14 tỉ năm, hiện nay đang dãn nở và loãng dần.

Phụ lục ĐÁP ÁN VÀ ĐÁP SỐ BÀI TẬP

Chương I

1. **1.** C ; **2.** A ; **3.** A ; **4.** A ; **5.** B ; **6.** 6 280 rad ; **7.** υ = 18,84 m/s ; **8.** 10 rad/s ; 2 rad/s^2.

2. **1.** D ; **2.** B ; **3.** B ; **4.** A ; **5.** D ; **6.** 0,125 kg.m^2 ; **7.** 30 rad/s ; **8.** 20 s.

3. **1.** D ; **2.** B ; **3.** A ; **4.** 0,75 kg.m^2/s.

4. **1.** C ; **2.** D ; **3.** D ; **4.** B ; **5.** 2,25 J ; **6.** 197 J ; **7.** 40 rad/s^2 ; 3 kg.m^2.

Chương II

6. **1.** C ; **2.** C ; **3.** C ;

5. a) Biên độ 6 cm ; tần số góc 4π rad/s ; chu kì 0,5 s ; tần số 2 Hz ;

b) Pha của dao động (khi $t = \frac{1}{4}$ s) bằng $\frac{7\pi}{6}$ rad ; li độ $x = -3\sqrt{3}$ cm ;

c) Độ dài vectơ 6 cm, góc hợp với Ox là $\frac{\pi}{6}$;

6. a) $x = 4\cos\left(\pi t - \frac{\pi}{2}\right)$(cm) ; b) $x = -4$ cm ; **7.** T = 0,18 s.

7. **1.** C ; **2.** C ; **3.** $l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = 0,249\,\text{m}$;

4. T = 3,464 s ; **5.** I = 0,0095 kg.m^2.

8. **1.** C ; **2.** 0,006 J ;

3. $W_t = \frac{1}{2}m\frac{g}{l}s^2$; $W_đ = \frac{1}{2}m\omega^2(s_0^2 - s^2)$;

$$W = W_t + W_đ = \frac{1}{2}m\omega^2 s_0^2 = \frac{1}{2}m\frac{g}{l}s_0^2\ ;$$

4. a) $\upsilon_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}A = \omega A$; b) $\upsilon_0 = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha_0)}$.

10. **1.** C ; **2.** Con lắc nhẹ sẽ tắt dần nhanh hơn.

11. **1.** A ; **2.** 19,2 km/h.

12. **1.** C ; **2.** $x = 0{,}2\cos\left(50t - \frac{\pi}{3}\right)$ (m) ;

3. $x = 2A\cos\frac{\Delta\varphi}{2}\cos\left(\omega t + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right)$, với $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

13. **1.** D ; **2.** B ; **3.** 25 cm và 9 cm.

Chương III

14. **1.** B ; **2.** C ; **3.** D ;

4. a) $A = 6$ cm ; b) $\lambda = 100$ cm ; c) $f = 2$ Hz ; d) $v = 200$ cm/s ; e) $u = 3$ cm.

15. **1.** B ; **2.** B ; **3.** $v = 8\,000$ cm/s ; **4.** a) $\lambda = \frac{2}{3}$ m ; b) $l = \frac{4}{3}$ m.

16. **1.** B ; **2.** C ; **3.** C ; **4.** Khoảng cách giữa hai vân cực tiểu trên đường nối liền hai nguồn phát sóng là : $i = \frac{\lambda}{2}$, do đó $\lambda = 2i = 4$ mm ; tốc độ truyền sóng $v = f\lambda = 4.50 = 200$ mm/s.

17. **1.** B ; **2.** C ; **3.** D ; **4.** B ; **5.** C ;

6. $10\lg\frac{I_2}{I_1} = L_2 - L_1 = (80 - 20)$ dB, vậy $\frac{I_2}{I_1} = 10^6$;

7. Dây đàn phát ra âm cơ bản ; trên dây có một bụng ; chiều dài dây bằng một nửa bước sóng : $l = \frac{\lambda}{2}$. Biết $\lambda = \frac{v}{f}$,

vậy $l = \frac{v}{2f} = \frac{250}{2.440} \approx 0{,}28$ m.

18. **1.** B ; **2.** C ;

3. Âm nghe trực tiếp từ nguồn chuyển động ra xa :

$$f_1' = \frac{\upsilon}{\upsilon + \upsilon_S} f = \frac{330}{330 + 10}.1\,000 \approx 970 \text{ Hz}$$

Âm nghe được sau khi phản xạ trên vách đá :

$$f_2' = \frac{\upsilon}{\upsilon - \upsilon_S} f = \frac{330}{330 - 10}.1\,000 \approx 1\,030 \text{ Hz}$$

20. **1.** Vì khó xác định lúc tắt hẳn ; **2.** Không.

Chương IV

21. **1.** D ; **2.** C ;

3. $L = \frac{1}{\omega^2 C} = 0{,}05$ H và $q = 2{,}5.10^{-5}\sin\left(2\,000t - \frac{\pi}{2}\right)$ (C) ;

4. $W_L = 24{,}75.10^{-6}$ J.

23. **1.** B ; **2.** C.

24. **1.** A ; **2.** B ; **3.** Không, vì giao thoa ;

4. Dùng quy tắc vặn đinh ốc (hoặc quy tắc tam diện thuận).

25. **1.** D ; **2.** 185 m ÷ 571 m.

Chương V

26. **1.** A ; **2.** B ; **3.** $u = 12\sqrt{2}\cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ (V) ; **4.** $I_0 = 10$ A.

27. **1.** B ; **2.** C ; **3.** B ; **4.** $I \approx 0{,}14$ A ;

5. $t = \left(\frac{1}{300} + \frac{k}{100}\right)$ (s), với k nguyên ;

6. $I \approx 3{,}5$ A.

28. **1.** D ; **2.** C ; **3.** $Z = 50\sqrt{2}\ \Omega$; $i = 1{,}2\sqrt{2}\cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ (A) ;

4. a) i sớm pha đối với u ; b) $C' \approx 1{,}01.10^{-4}$F.

29. **1.** C ; **2.** B ; **3.** $\cos\varphi \approx 0{,}447$; $A \approx 1\ 934$ J ; **4.** $\cos\varphi = 0{,}15$.

30. **1.** A ; **2.** C ; **3.** $f = 60$ Hz ; **4.** $E \approx 89$ V.

31. **1.** D ; **2.** C ; **3.** $A = 2{,}16.10^6$ J ; **4.** $I \approx 10{,}2$ A.

32. **1.** D ; **2.** A ;

3. $n_1 = 950$ vòng ; $I_1 \approx 0{,}047$ A ; **4.** a) $\Delta \mathscr{P} = 20$ kW ; b) $U' = 4$kV.

34. **1.** C ; **2.** B.

Chương VI

35. **1.** C ; **2.** C.

36. **1.** D ; **2.** C.

37. **1.** B ; **2.** B ; **3.** A ; **4.** a) $\lambda = 0{,}40\ \mu$m ; màu tím ; b) 4,2 mm ;

5. Tại M có vân sáng bậc 3, tại N có vân tối.

39. **1.** C ; **2.** D ; **3.** B ; **4.** B.

40. **1.** D ; **2.** C ; **3.** C ; **4.** B.

41. **1.** B ; **2.** D.

42. **1.** Nếu $i < 0{,}1$ mm thì phải tăng D ; nếu $i > 0{,}1$ mm thì phải giảm D ;

2. Các vân gần nhau hơn ; không có vân giao thoa.

Chương VII

43. **1.** D ; **2.** C ; **3.** C ; **4.** D ; **5.** $0{,}79.10^6$ m/s.

44. **1.** D ; **2.** B ; **3.** B ; **4.** $4{,}7.10^5$ m/s ; **5.** $3{,}815.10^{-19}$ J ; 0,520 μm.

46. **1.** C ; **2.** D ; **3.** A.

47. **1.** D ; **2.** A ; **3.** B ; **4.** $\lambda_{01} = 102{,}9$ nm ; $\lambda_{02} = 97{,}5$ nm ; $\lambda_{03} = 1875$ nm.

48. **1.** C ; **2.** D.

49. **1.** B ; **2.** C.

Chương VIII

50. **1.** D ; **2.** D ; **3.** 12 cm ; **4.** 20 phút.

51. **1.** B ; **2.** D ; **3.** $2,6.10^{8}$ m/s.

Chương IX

52. **1.** C ; **2.** A ; **3.** C ; **4.** B ; **5.** 2,3 MeV ; **6.** $2,7.10^{12}$ J.

53. **1.** C ; **2.** C ; **3.** B ; **4.** 0,144 g ; $4,21.10^{20}$ nguyên tử ; **5.** 0,22 mg.

54. **1.** D ; **2.** B ; **3.** ${}^{4}_{2}He$; ${}^{1}_{1}H$;

4. a) $A = 1$, $Z = 1$, prôtôn ; b) Thu năng lượng ; $2,56.10^{13}$ J.

56. **1.** C ; **2.** C ; **3.** D ; **4.** 214 MeV.

57. **1.** B ; **2.** C.

Chương X

58. **1.** B ; **2.** D.

59. **1.** D ; **2.** B.

60. **1.** D ; **2.** B.

61. **1.** C ; **2.** B.

MỤC LỤC

Chương VI SÓNG ÁNH SÁNG

Chương VII LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG

Chương VIII SƠ LƯỢC VỀ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP

Chịu trách nhiệm xuất bản : Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc **NGÔ TRẦN ÁI**
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập **NGUYỄN QUÝ THAO**

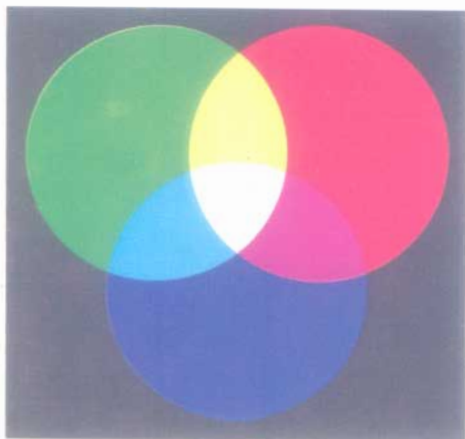
Biên tập lần đầu : NGUYỄN TIẾN BÍNH – PHÙNG THANH HUYỀN
Biên tập tái bản : PHẠM ĐÌNH LƯỢNG
Biên tập kĩ thuật : LƯƠNG QUỐC HIỆP
Trình bày bìa : LƯƠNG QUỐC HIỆP
Thiết kế sách : CTCP MĨ THUẬT VÀ TRUYỀN THÔNG
Sửa bản in : LÊ NHƯ HÀ – VƯƠNG THỊ TRÌNH
Chế bản : CTCP MĨ THUẬT & TRUYỀN THÔNG

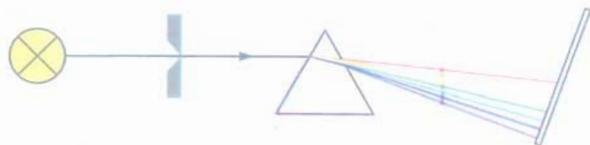
Trong sách có sử dụng một số tư liệu ảnh của Thông tấn xã Việt Nam và của các tác giả khác.

VẬT LÍ 12 – NÂNG CAO

Mã số : NH205T0

In 90.000 bản (ST), khổ 17x24 cm.
In tại Công ty CP In Nghệ An. 216 - Trần Phú - TP Vinh - Nghệ An.
Số in: 10GK. Số xuất bản: 01-2010/CXB/760-1485/GD.
In xong và nộp lưu chiểu tháng 01 năm 2010.


Sự hoà trộn từ ba màu sơ cấp.


Thí nghiệm tán sắc ánh sáng.

QUANG PHỔ VẠCH PHÁT XẠ VÀ HẤP THỤ


Hiđrô


Thuỷ ngân


Natri


Heli


Natri


Chất diệp lục


Lò phản ứng hạt nhân
tại thành phố Đà Lạt.


Cầu vồng ở thành phố Đà Lạt.


Quang cảnh lễ khai mạc
SEAGAMES 22.





SÁCH GIÁO KHOA LỚP 12

1. TOÁN HỌC
   - GIẢI TÍCH 12
   - HÌNH HỌC 12
2. VẬT LÍ 12
3. HOÁ HỌC 12
4. SINH HỌC 12
5. NGỮ VĂN 12 (tập một, tập hai)
6. LỊCH SỬ 12
7. ĐỊA LÍ 12
8. TIN HỌC 12
9. CÔNG NGHỆ 12
10. GIÁO DỤC CÔNG DÂN 12
11. GIÁO DỤC QUỐC PHÒNG - AN NINH 12
12. NGOẠI NGỮ
    - TIẾNG ANH 12 • TIẾNG PHÁP 12
    - TIẾNG NGA 12 • TIẾNG TRUNG QUỐC 12

SÁCH GIÁO KHOA LỚP 12 - NÂNG CAO

Ban Khoa học Tự nhiên :
- TOÁN HỌC (GIẢI TÍCH 12, HÌNH HỌC 12)
- VẬT LÍ 12 • HOÁ HỌC 12 • SINH HỌC 12

Ban Khoa học Xã hội và Nhân văn :
- NGỮ VĂN 12 (tập một, tập hai)
- LỊCH SỬ 12 • ĐỊA LÍ 12
- NGOẠI NGỮ (TIẾNG ANH 12, TIẾNG PHÁP 12, TIẾNG NGA 12, TIẾNG TRUNG QUỐC 12)





Giá: **16.100đ**